Das Verhalten oberschlesischer Kohlen bei der Erhitzung

(Schwelung und Verkokung)

Von der Technischen Hochschule zu Breslau
zur Erlangung der Würde eines Doktor-Ingenieurs genehmigte

Dissertation

Berichterstatter: Prof. E. Diepschlag
Mitberichterstatter: Prof. Dr.-Ing. E. Ferber

Tag der mündlichen Prüfung: 17. November 1938

Beuthen O.-S.
Verlagsanstalt Kirsch & Müller G. m. b. H.

46879

Die vorliegende Arbeit wurde im Hauptlaboratorium der „Borsig-Kokswerke AG.", Hindenburg-Borsigwerk OS., ausgeführt. Für die tatkräftige Förderung meiner Arbeiten und für das mir bewiesene Entgegenkommen bin ich Herrn Chefchemiker, Direktor Dr. P. Damm zu größtem Dank verpflichtet.

Meinen besonderen Dank möchte ich an dieser Stelle auch meinem verehrten Lehrer, Herrn Professor E. Diepschlag, abstatten, der meiner Arbeit stets größtes Interesse entgegenbrachte und mich bereitwilligst mit Rat und Tat unterstützte.

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Eidesstattliche Erklärung

Ich versichere hiermit an Eides Statt, daß ich die vorliegende Arbeit: „Das Verhalten oberschlesischer Kohlen bei der Erhitzung (Schwelung und Verkokung)" selbständig angefertigt habe.

Bobrek-Karf I OS., den 21. Februar 1938.

Inhaltsangabe

I. Allgemeines: Seite

1. Einführung 5
2. Einordnung der untersuchten Kohlen 6
3. Kennzahlen der untersuchten Kohlen 7

II. Versuche:

1. Modellversuche 9
   a) Aussehen der Modellkokse 11
2. Betrachtungen über grundlegende Forderungen der Verfahrenstechnik 12
3. Verkokungsversuche im Schwelofen nach Wölbling 13
4. Versuchsergebnisse
   a) Aussehen der Kokse 14
   b) Elementaranalyse 17
   c) Festigkeit und Abrieb 17
   d) Reaktionsfähigkeit 19
   e) Zündpunkt 27
   f) Flüchtige Bestandteile 27
   g) Flüchtige Bestandteile und Porenraume . . . 28
5. Schwelung im Betrieb und Laboratorium 29
6. Ausbringen an Nebenerzeugnissen 30
   a) Ausbringen nach Fischer 34
   b) Abhängigkeit des Ausbringens von Verkokungsdauer und Besatzdichte 35
   c) Beschaffenheit der Nebenerzeugnisse 35
   d) Vergleich des Laboratoriumsausbringens mit dem Ausbringen im Betriebe 40

III. Zusammenfassung 41

Das Verhalten oberschlesischer Kohlen bei der Erhitzung

(Schwelung und Verkokung)

Ein Beitrag zur Kenntnis der oberschlesischen Kohlen
von Dipl.-Ing. Kurt Quaschner, Bobrek-Karf I, O.-S.

I. Allgemeines.

1. Einführung.

Für die Verkokung oberschlesischer Kohlen liegen die Verhältnisse nicht so klar wie etwa für Westfalen. Eigentliche „Kokskohlen" im Sinne von Westfalen fehlen, mit einer Ausnahme, vollkommen. Man ist daher in Oberschlesien gezwungen, Kunstgriffe, wie die Mischung verschiedener Kohlensorten und den Stampfbetrieb, anzuwenden, um zu einem Koks zu gelangen, der den gesteigerten Anforderungen genügt, die heute Technik und Hausbrand an den Koks stellen müssen.

Im Zuge des Vierjahresplanes hat die Verkokung, insbesondere die Mitteltemperaturverkokung und Schwelung der Kohlen, eine erhöhte Bedeutung erlangt. Die oberschlesische Steinkohlenindustrie stützt sich in erster Linie auf die reichen Kohlenvorräte der Sattelflözgruppe, deren Kohlen mit verkokungstechnisch stark wechselndem Charakter auftreten. Weiter kann es sich für Oberschlesien auch nicht darum handeln, gut absatzfähige und teure Kohlensorten zu veredeln, als vielmehr den billigen Kohlenstaub (etwa in der Korngröße 0—10 mm) in einen hochwertigen und stückfesten Brennstoff bei möglichst guter Oelausbeute überzuführen, wofür die Niedrigtemperaturverkokung insbesondere geeignet erscheint. Da einerseits bei diesen Verfahren der Koks mengenmäßig das Hauptprodukt ist, andrerseits die Schwelteere, nach den bisher vorliegenden Erfahrungen, nicht höher bewertet werden können als die Hochtemperaturteere, ist der Koks der Träger der Wirtschaftlichkeit dieser Verfahren und muß als solcher mindestens das 1,4fache des Kohlenpreises erlösen[1]). Eine solche Verteuerung des Brennstoffes hat aber zur unbedingten Voraussetzung, daß der Mittel- oder Tieftemperaturkoks

1. in seinen physikalischen Eigenschaften, also hinsichtlich Korngröße, Stückfestigkeit und Abriebfestigkeit den Anforderungen des Verbrauchers genügen muß, und daß er
2. in Verbrauchskanäle geleitet werden muß, die seine spezifischen Eigenschaften auch voll auszunutzen vermögen.

Diese beiden Bedingungen haben ihrerseits aber wieder zur Voraussetzung, daß einmal die verfahrenstechnische Seite der Mittel- und Tieftemperaturverkokung beherrscht wird, und außerdem die spezifischen Eigenschaften der Kokse als solche und in ihrer Abhängigkeit von Ausgangsmaterial und Herstellungsbedingungen erkannt und klargestellt werden.

Aus diesen beiden Gesichtspunkten heraus sind die vorliegenden Untersuchungen entstanden, wobei zunächst die Frage zu klären war, inwieweit sich die reichen Kohlenvorräte Oberschlesiens in der Sattelflözgruppe als Grundlage für die Mittel- bezw. Tieftemperaturverkokung eignen, d. h. unter welchen Bedingungen aus Kohlen verschiedenen Charakters ein fester Schwelkoks erhalten werden kann. Die bei den Versuchen gewonnenen Ergebnisse wurden durch einen etwa zu gleicher Zeit durchgeführten Schwelversuch im Betriebe erhärtet.

Für Verbrauchszwecke aller Art ist die Reaktionsfähigkeit des Kokses von Bedeutung. Es war deshalb zu ermitteln, welche Beziehungen zwischen Ausgangsmaterial, Verkokungstemperatur und Verkokungsdauer einerseits und der Reaktionsfähigkeit des Kokses andrerseits bestehen. Nach den durch die Modellversuche gewonnenen Erkenntnissen konnte für die weiteren Versuche die Schwelapparatur nach Wölbling als für die oberschlesischen Kohlen besonders geeignet ausgewählt werden, wobei neben einem genügend großen Kohleneinsatz die Möglichkeit gegeben war, die Ausbeute an Nebenerzeugnissen zu erfassen und ihre Aenderung mit der Verkokungstemperatur zu studieren.

Koks und Nebenerzeugnisse wurden, dem praktischen Zweck der Arbeit folgend, nach den im Hauptlaboratorium der Borsig- und Kokswerke A.G. eingeführten Untersuchungsverfahren untersucht.

2. Einordnung der untersuchten Kohlen.

Da sich die oberschlesichen Kohlen, je nach ihrem geologischen Alter und ihrer Lagerung, bei der Verkokung verschieden verhalten, sind bereits sämtliche Gruben zu einer Kohlenauswahl unter Tage geschritten, um den Forderungen der Kokereien und Gaswerke nach einer geeigneten Kokskohle möglichst gerecht zu werden. Deshalb sind auch die vorliegenden Kohlen nicht einzelnen bestimmten Abbau-Orten unter Tage entnommen, sondern entstammen der normalen Kokskohlenförderung von fünf deutsch-oberschlesischen Gruben.

Es ist außerdem vorweg zu bemerken, daß sich die Untersuchungen über einen Zeitraum von etwa zwei Jahren erstreckten, und daß für jede Versuchsreihe Kohlen frischer Förderung verarbeitet wurden, um Aenderungen in den Kohleneigenschaften, die durch zu langes Lagern der Kohlen entstehen, möglichst auszuschalten.

Kohle G ist eine naß gewaschene Kohle in einer Korngröße von 0—10 mm. Sie ist die geologisch älteste in Deutsch-Oberschlesien gebaute Kohle und umfaßt Kohle aus dem oberen Teil der Unteren Ostrauer Schichten sowie aus dem unteren Teil der Oberen Ostrauer Schichten. Sie ist die einzige hochwertige Kokskohle, die auch durch langes Lagern keine Einbuße ihrer Verkokungseigenschaften erleidet.

Kohle A, als nächstälteste Kohle, entsammt der Andreasflözgruppe und lag für die Untersuchungen in der Korngröße 40—60 mm vor.

Die *Kohlen O und H* gehören der Sattelflözgruppe an und sind backende Flammkohlen, vorwiegend aus dem Pochhammerflöz. Sie sind die normalen oberschlesischen „Kokskohlen", geben aber, allein verkokt, infolge ihres hohen Gehaltes an flüchtigen Bestandteilen nur einen Koks von sehr geringer Festigkeit. Beide Kohlen lagen in einer Korngröße von 0—10 mm vor.

Kohle F umfaßt die übrigen Flöze der Sattelgruppe und ist verkokungstechnisch als mäßig backende Gasflammkohle anzusprechen. Geliefert wird sie in Korn von 0—10 mm.

Kohle L ist eine wenig backende Gasflammkohle, ebenfalls aus den oberen Flözen der Sattelgruppe, mit einer Korngröße von 0—10 mm.

Kohle B ist eine Mischung aus den Kohlen G — O — F und L, wie sie auf einer oberschlesischen Kokerei als Besatzkohle für die Hochtemperaturverkokung verwendet wird.

3. Kennzahlen der untersuchten Kohlen.

Zahlentafel 1 enthält eine Zusammenstellung der Kennzahlen der für die Hauptversuche in der Verkokungsapparatur nach Wölbling verwendeten Kohlen.

Der hohe Gesamt-Wassergehalt der Kohle G erklärt sich durch die nasse Aufbereitung dieser Kohle, der niedrige Wassergehalt der Kohle A durch die grobe Körnung. Aus denselben Gründen liegen auch die Aschengehalte dieser beiden Kohlen verhältnismäßig niedrig.

Das geologische Alter der Kohlen kommt bei den folgenden Kennzahlen deutlich zum Ausdruck:

Zahlentafel 1. Kennzahlen der Kohlen.

Kohle	Kohlen der Sattelflöze						
	G	A	O	H	F	L	B
Wasser gesamt . . . . . %	14,3	3,0	5,3	6,2	7,5	5,2	7,5
Wasser gebunden . . . . %	0,8	1,8	1,8	2,2	1,9	2,3	1,8
Asche in trockener Probe %	6,9	3,9	8,5	9,7	11,4	10,0	9,0
Flücht. Bestandteile(Reink.)%	27,5	34,7	36,1	36,7	36,8	36,0	33,0
Backfähigkeit (Reink.) . . %	25	22	18	14	14	13	21
Elementaranalyse (Reink.):							
Kohlenstoff	88,10	85,00	85,60	84,30	83,1	82,40	84,40
Wasserstoff	5,20	5,50	3,80	5,50	5,2	5,40	5,30
Stickstoff	0,89	0,87	1,20	0,84	1,3	0,75	0,83
Sauerstoff	5,81	8,63	9,40	9,36	10,4	11,45	9,47
	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
Disponibler Wasserstoff . %	4,47	4,42	2,63	4,33	3,9	3,97	4,12
Gesamt-Schwefel	0,93	0,92	1,21	0,97	1,08	1,15	1,09
Höchste Bildsamkeit: . °C	415	410	418	415	410	430	420
mm W. S.	360	64	28	30	20	24	42
Entgasungsverlauf: bei 500°C	15,2	21,0	19,2	20,0	18,8	19,2	17,6
Entgasungsverlauf auf flücht. Bestandteile bezogen . %	59,4	63,0	58,2	60,4	57,7	59,3	58,6
Pyridinextraktion:							
α-Bestandteile	92,58			88,8		90,0	
β „	1,84			2,4		1,0	
γ „	5,58			8,8		9,0	
Gesamtbitumen	7,42			11,2		10,0	
Ölbitumen	2,18			2,2		2,0	
Backfähigkeit der α-Bestandteile	14			0		0	

Das *gebundene Wasser* und die *flüchtigen Bestandteile* steigen zu den Sattelflözen an, wobei diese Flöze unter sich nur geringe Abweichungen zeigen. Die *Backfähigkeit* fällt bei den jungen Kohlen stark ab, von 25 bei Kohle G auf 13 bei Kohle L. Hierbei zeigen sich schon innerhalb der

Sattelflöze stärkere Unterschiede (18 bei Kohle O und 13 bei Kohle L), die bei der Verkokung deutlich zum Ausdruck kommen.

Die Backfähigkeit wurde bestimmt nach dem Verfahren von Meurice-Campedron, das in der oberschlesischen Industrie allgemein eingeführt ist.

Ein gutes Maß für das geologische Alter der Kohlen ist die Inkohlung. Der Kohlenstoffgehalt steigt mit zunehmendem Alter der Kohle, während der Sauerstoffgehalt abnimmt. Der Gehalt an Wasserstoff ist mit 5,2—5,5 % bei den Kohlen wenig unterschiedlich, nur bei Kohle O liegt er mit 3,8% sehr tief. Der Stickstoffgehalt liegt bei den Kohlen G, A, H und der Mischung B etwa gleich hoch (0,83—0,89%), bei den Kohlen O und F liegt er bei 1,2 und 1,3%, bei Kohle L bei nur 0,75%. Der Gesamtschwefelgehalt (Aschenschwefel + organischer Schwefel) liegt sehr gleichmäßig bei etwa 1%.

Unterschiede in der Zusammensetzung der oberschlesischen Kohlen bestehen also hauptsächlich im Gehalt an flüchtigen Bestandteilen, im Kohlenstoff- und Sauerstoffgehalt.

Für die Verkokung besonders aufschlußreich ist die Untersuchung der Bildsamkeit und des Entgasungsverlaufes der Kohlen nach Foxwell mit der Apparatur von Bunte[2]). Abbildung 1 zeigt die für die einzelnen Kohlen aufgenommenen Kurven.

Wie die hohe Backfähigkeit der Kohle G schon vermuten ließ, haben wir eine ausgezeichnet schmelzende Kokskohle vor uns. Die höchste Bildsamkeit liegt bei 415° C mit 360 mm W.S. bei einem Wert, den die anderen oberschlesischen Kohlen, auch nur annähernd, nicht erreichten. Man muß daraus schließen, daß diese Kohle über den gesamten Querschnitt des Versuchsrohres gleichzeitig ihren bildsamen Zustand erreicht. Dieses Verhalten setzt eine sehr gute Wärmeleitfähigkeit oder aber eine bei der Verkokung auftretende positive Wärmetönung voraus, was bei einer der folgenden Versuchsreihen noch deutlich zum Ausdruck kommt. Der Entgasungsverlauf zeigt sich am deutlichsten in der Differenzkurve, die angibt, welche Mengen der flüchtigen Bestandteile von 20 zu 20° C entweichen. Gute Kokskohlen haben im Temperaturbereich von 400 bis 450° C meist eine deutliche Entgasungsspitze. Bei Kohle G liegt sie zwischen 420 und 440° C über dem abfallenden Ast der Bildsamkeitskurve, d. h. eine stärkere Zersetzung des Bitumens tritt erst ein, nachdem es den Schmelzfluß der Kohle durch teilweises Lösen und Verkitten der nichtschmelzenden Anteile bewirkt hat[3]).

Von den weiteren Versuchskohlen kommt Kohle A mit einem ausgeprägten Höchstwert in der Bildsamkeitskurve der Kohle G am nächsten. Bei den backenden Gasflammkohlen O, H und F ist der Umkehrpunkt in der Bildsamkeitskurve noch deutlich vorhanden, doch verlaufen der ansteigende und besonders der abfallende Ast der Kurve wesentlich flacher. Ebenso liegt der Punkt der höchsten Bildsamkeit bedeutend niedriger als bei den Kohlen G und A. Im Entgasungsverlauf besitzen diese Kohlen, wie die Kohle G, eine ausgeprägte Entgasungsspitze, die jedoch, abweichend von Kohle G, mit dem Punkt der höchsten Bildsamkeit zusammenfällt, woraus auf eine vorzeitige Zersetzung des geschmolzenen Bitumens zu schließen ist, die natürlich den Grad des Schmelzflusses beeinträchtigen muß.

Die wenig backende Gasflammkohle L besitzt in der Bildsamkeitskurve überhaupt keinen ausgeprägten Höchstwert. Das „Schmelzen“ dieser Kohle besteht nur in einem Zusammensintern der einzelnen Kohlenteilchen, die nach der Wiederverfestigung, wenn man überhaupt von einer solchen reden kann, dem durchströmenden Gas im Versuchsrohr weder Risse noch Kanäle im Halbkoks freigeben, so daß die Bildsamkeitskurve waagerecht ausläuft.

Beim Entgasungsverlauf der Kohle L ist bemerkenswert, daß schon in der Zone der Vorentgasung eine deutliche Entgasungsspitze (gesteigerte Zersetzung des Bitumens) vorhanden ist, die wohl für das geringe Schmelzvermögen der Kohle L verantwortlich zu machen ist. Die Hauptentgasung weist auch keine Spitze mehr auf, sondern verläuft flach. Im Koksofen wird daher eine solche Kohle als reines Abmagerungsmittel wirken, wobei man bei Verwendung dieser Kohle gegenüber anderen Magerungsmitteln, wie Koksgrus oder Anthrazit, noch den Vorteil hat, aus ihr Nebenerzeugnisse zu gewinnen.

In den Kurven der Besatzkohle B (aus G, O, F und L) prägen sich die Eigenschaften der Einzelkohlen deutlich aus. Infolge des guten Schmelzvermögens der Kohle G liegt der höchste Punkt der Bildsamkeitskurve wesentlich höher als bei den Kohlen der Sattelflöze (O, F, L). Die Schmelzzone erscheint etwas verbreitert, was, wie Bunte[4]) nachgewiesen hat, eintritt, wenn zu backenden Kokskohlen Gasflammkohlen zugemischt werden.

Beim Entgasungsverlauf ist die Vorentgasungsspitze der Kohle L auch in der Mischung B schwach ausgeprägt. Die starke Hauptentgasung erstreckt sich über den größten Teil der Bildsamkeitszone ohne deutliche Entgasungsspitze.

Von der sehr gut backenden Kohle G, der backenden Gasflammkohle H und der wenig backenden Gasflammkohle L liegen auch Ergebnisse der Pyridinextraktion vor. Die jungen Kohlen der Sattelflöze H und L weisen einen höheren Gehalt an Gesamtbitumen auf als Kohle G, wie es die flüchtigen Bestandteile schon vermuten ließen. Der Gehalt an Oelbitumen ist annähernd gleich. Wenn trotz des hohen Bitumengehaltes das Schmelzvermögen der Kohlen H und L wesentlich schlechter ist als das der Kohle G, so hängt das, wie oben ausgeführt, mit dem ungünstigen Zersetzungsverhalten dieses Bitumens zusammen. Bemerkenswert ist noch die Backfähigkeit der α-Bestandteile; während die α-Bestandteile der Kohlen H und L keine Backfähigkeit mehr besitzen, haben diese Bestandteile der Kohle G noch eine solche von 14, backen also noch ebenso gut wie z. B. die Ausgangskohlen H und F.

II. Versuche.

1. Modellversuche.

In der ersten Versuchsreihe wurden in einer elektrisch beheizten Muffel Kistenverkokungen mit geringen Mengen bei Temperaturen von 500 bis 1000° C ausgeführt. Es soll dadurch das Verhalten der Kohlen in den Temperaturbereichen

bis 600° = Tieftemperaturverkokung (Schwelung)
600— 800° = Mitteltemperaturverkokung
800—1000° = Hochtemperaturverkokung

geprüft werden, um Anhaltspunkte für ihre Eignung für die auf Wärmezersetzung beruhenden Veredelungsverfahren zu erhalten.

Die Versuchsverkokungen in rechteckigen Kisten, wie sie bisher im Laboratorium und auch im halbtechnischen Maßstabe üblich waren, sind bei den späteren Untersuchungen aus den weiter unten erörterten Erwägungen zugunsten der Verkokung in Rohren verlassen worden.

Für die Modellversuche waren drei charakteristische Vertreter oberschlesischer Kohlen herangezogen: die sehr gut backende Kohle G, die backende Gasflammkohle H und die wenig backende Gasflammkohle L.

Zur Unterscheidung gegen die folgenden Hauptversuche in der Apparatur nach Wölbling, bei denen auch das Nebenausbringen erfaßt wurde, sollen diese Versuche als *Modellversuche* bezeichnet werden.

Da im Kokereibetrieb die Besatzkohle in den heißen Ofen besetzt wird, wurde auch bei sämtlichen Versuchen die Muffel bezw. der Schwelofen nach Wölbling auf die Verkokungstemperatur angeheizt und dann mit den Proben besetzt.

Sämtliche Kohlen wurden verkokt bei 500, 600, 700, 800, 900 und 1000° C.

Bei den heute immer weiter Fuß fassenden Bestrebungen, aus technischen und wirtschaftlichen Gründen eine möglichst aschearme Kohle auf den Markt zu bringen, war es von Interesse, den Einfluß des Aschegehaltes auf die Kokseigenschaften kennen zu lernen. Deshalb wurde Kohle G 3mal, Kohle H 2mal flotiert, wobei der Aschegehalt der Kohle G von 6,5 auf 3,5%, der Kohle H von 8,2 auf 2,6% gesenkt wurde.

Bei den Koksen wurden bestimmt:

a) die Reaktionsfähigkeiten bei 700, 800, 900 und 1000° C mit CO_2,
b) der *Zündpunkt* in Luft (nach dem Verfahren von Bunte),
c) die flüchtigen Bestandteile.

Sämtliche Versuche wurden unter genau gleichen Bedingungen durchgeführt. Die angelieferten Kohlen wurden auf eine Korngröße von 0—1 mm zerkleinert, so daß eine genügende Wirkung der Flotation erwartet werden konnte. Der Wassergehalt der Kohle bei der Verkokung betrug gleichmäßig 10%, die Stampfdichte: naß 1000 kg/m³, trocken 900 kg/m³. Sie entspricht etwa der im praktischen Betrieb erreichten Stampfdichte. Um die Vergleichsmöglichkeit zu wahren, wurde die Kohle G, die im Betrieb nicht gestampft wird, bei den Versuchen gestampft.

Verkokt wurden die Kohlen in einer elektrischen, mit Silitstäben beheizten Muffel in Blechkisten mit den lichten Maßen: 306×100×58 mm. Die Muffel wurde auf die jeweils gewünschte Temperatur angeheizt. Darauf wurden zwei mit derselben Versuchskohle gefüllte und mit Draht verschnürte Blechkisten eingesetzt.

Die Verkokung wurde als beendet angesehen, wenn keine brennbaren flüchtigen Bestandteile (Teerdämpfe) mehr auftraten.

Nach Aufhören der Teerentwicklung (Ende der Verkokung) wurde *eine* Kiste aus der Muffel entfernt und an der Luft abkühlen gelassen. Die zweite Kiste blieb noch weitere 4 Stunden bei derselben Temperatur in der Muffel. Im weiteren Verlauf der Arbeit soll der sofort nach Beendigung der Verkokung herausgenommene Koks mit *„garade gar"* oder kurz *„gar"*, der 4 Stunden übergestandene Koks mit *„übergar"* bezeichnet werden.

Aus der Garungszeit und der halben Höhe der Kiste (29 mm) ergeben sich folgende mittlere Verkokungsgeschwindigkeiten:

Zahlentafel 2.
Mittlere Verkokungsgeschwindigkeiten bei den Modellversuchen.

Verkokungstemperatur	Kohle G mm/h	Kohle H mm/h	Kohle L mm/h
000° C	5,05	4.9	5.05
600° C	8,10	7,0	7.10
700° C	9,70	9,0	9,10
800° C	11,60	10,9	11,60
900° C	14,50	12.9	13.40
1000° C	19,70	20,9	17,50

Die Verkokungsgeschwindigkeit ist abhängig hauptsächlich von der Kammerbreite und von der in die Kammer strömenden Wärmemenge. Diese wiederum hängt einerseits ab von der Dichte, der spez. Wärme und der Wärmeleitfähigkeit des Einsatzes, der im Verlaufe der Verkokung seinerseits physikalischen und chemischen Umsetzungen unterworfen ist, andrerseits von der *Wärmenachlieferung*, d. h. vom Wärmefluß in der Kammerwand. Litterscheid[5]) hat die Wärmeströmung in den Kammereinsatz an Betriebsergebnissen untersucht und die Abhängigkeit sehr klar herausgestellt.

In Zahlentafel 2 fällt auf, daß die Verkokungsgeschwindigkeit bei der Kohle G größer ist als bei den anderen beiden Kohlen. Diese unterschiedliche Verkokungsgeschwindigkeit beruht nicht auf verschiedenen Verkokungsbedingungen, denn diese waren bei allen Versuchen gleich, sondern liegt in den Kohlen selbst begründet. Die Erklärung dafür kann nur sein, daß die Kohle G infolge ihres vorzüglichen Schmelzvermögens eine größere Verkokungswärme entwickelt als die beiden Gasflammkohlen. Diese exotherme Verkokungswärme der Kohle G beschleunigt den Verkokungsvorgang. Die Gasflammkohlen (auch backende Gasflammkohlen!) brauchen eine größere Wärmezufuhr zur Verkokung, was sich im Betriebe deutlich durch einen erhöhten Unterfeuerungsbedarf bezw. durch eine längere Garungszeit bemerkbar macht.

Ia. Aussehen der Modellkokse.

Man erkennt am Aussehen deutlich, daß im Verkokungsverhalten der drei untersuchten Kohlen grundlegende Unterschiede bestehen.

Kohle G:

Zwischen „garem" und „übergarem" Koks, sowie zwischen Koks aus „unflotierter" und „flotierter" Kohle G sind im Aussehen keine Unterschiede festzustellen. Der Koks ist bei allen Verkokungstemperaturen gut geschmolzen, sehr fest, mit metallischem Klang. Der bei 1000 bis 700° C hergestellte Koks ist silberhell, der bei 600 und 500° C hergestellte ist dunkler, aber noch glänzend und ähnelt sehr einem Pechkoks. Auffallend ist bei allen Koksen ein schaumiger, großporiger Streifen in der Mitte des Kokskuchens, der nach den tiefen Verkokungstemperaturen hin immer ausgeprägter hervortritt. Sämtliche Kokse lassen erkennen, daß sie aus einer Kokskohle mit sehr gutem Schmelzvermögen hergestellt sind. Das gute Aussehen auch der Tieftemperaturkokse weist auf eine „wärmeunempfindliche" Ausgangskohle hin, d. h. selbst bei niedrigen Temperaturen, also geringen Verkokungsgeschwindigkeiten, wird aus der Kokskohle G ein fester, gut geflossener Koks erhalten.

Kohle H:

Der bei Temperaturen bis herab zu 700° C hergestellte Koks ist gut geschmolzen und dicht. Der 1000- und 900°-Koks ist silbergrau; von 800° C an wird der Koks merklich dunkler. Während der *700°-Koks noch gut geschmolzen* und fest ist, hat der 600- und 500°-Koks ein grieseliges Aussehen, ist weich und zerreiblich und läßt das Kohlengefüge deutlich erkennen. Man kann daraus schon auf eine Aenderung in den Verkokungseigenschaften der Kohle H unterhalb 700° C, also unterhalb einer gewissen Verkokungsgeschwindigkeit, schließen. Die Kohle H bietet ein gutes Beispiel für eine „wärmeempfindliche" Kohle.

Die Kokse aus Kohle H zeigen mehr und stärkere Risse, besonders bei 1000 und 900° C, als der Koks G. Es hängt dies mit dem ungünstigeren Entgasungsverlauf und dem stärkeren Schwinden zusammen. Die Kohle H hat eine starke Nachentgasung, die, wie Damm[6]) gezeigt hat, die Rißbildung im Koks begünstigt.

Bei Temperaturen unterhalb 800° C verliert sich die Rißbildung bei den Versuchskoksen vollkommen, und zwar infolge verminderter Nachentgasung.

Zwischen Koks aus flotierter und unflotierter Kohle H sind Unterschiede nicht festzustellen.

Kohle L:

Wie zu erwarten war, liefert die Kohle L infolge ihrer geringen Backfähigkeit den schlechtesten Koks, der nicht einmal als 1000°-Koks geringen Ansprüchen genügt. Bei tiefen Temperaturen ist ein schwaches Sintern festzustellen, das die ungeschmolzenen Kohlenkörner gerade zusammenhält. Die Kohle L ist eine reine Gasflammkohle, deren alleiniges Verkoken nicht möglich ist, die aber als Zumischkohle zu hochwertigen Kohlen sehr gut geeignet ist.

Bei den Verkokungen zeigt die Kohle G einen vorübergehenden Treibdruck, der durch die hohe Stampfdichte, die im Großbetriebe nicht angewendet wird, noch begünstigt wurde. Ein gewisser Treibdruck während der Verkokung ist, wie Damm[6]) gezeigt hat, zur Bildung eines dichten Koksgefüges durchaus erwünscht. Diesem Treiben steht aber bei Verkokungstemperaturen bis zu 700° C herunter ein ausreichendes Schwinden gegenüber. Erst bei Verkokungstemperaturen von 600 und 500° C macht sich der Treibdruck unangenehm bemerkbar. Der Koks schwindet nicht mehr und ist an den Kistenwänden angebacken.

Demgegenüber kann ein Treiben der Kohlen H und L kaum festgestellt werden. Das Schwinden des Koks überwiegt vollkommen, nimmt aber, wie bei der Kohle G, nach den niedrigen Verkokungstemperaturen hin ab.

Die Stück- und Abriebfestigkeit der Modellkokse wurde nicht näher untersucht, weil sich eine Erscheinung zeigte, die auch im Großbetriebe, besonders bei langsam garenden Oefen, zu beobachten ist.

Bei den meisten Koksen ist eine sehr helle, schmale Randzone gegen das übrige Koksstück durch einen dunklen, bei den Gasflammkohlen meistens gesinterten Streifen deutlich abgesetzt. Dies rührt daher, daß nach dem Besetzen des Koksofens (oder der Muffel) die in den Wänden aufgespeicherte Wärme in der Randzone des Kohlekuchens eine sehr hohe Verkokungsgeschwindigkeit auslöst, die aber bald infolge der Entspeicherung der Wand und der Bildung der wärmeundurchlässigen Teernaht sich stark verlangsamt. Bis zum Ausgleich dieses Wärmeanpralls, d. h. bis zu dem Zeitpunkt, wo durch Wärmenachlieferung aus der Wand die Verkokung gleichmäßig in das Innere des Kohlenbesatzes fortschreitet, wird also eine Zone geringer Verkokungsgeschwindigkeit liegen, die bei wärmeempfindlichen Kohlen, (wie die der oberschlesischen Sattelflöze) zu dem dunkel abgesetzten Streifen führt. Diese Zone ist in ihrer Breite abhängig von der Wärmemenge, die die Wand beziehungsweise die Muffel beim Aufheizen aufzunehmen und beim Besetzen plötzlich abzugeben im Stande ist. Deshalb tritt auch bei hohen Verkokungstemperaturen dieser „Wärmeschock" nicht so stark in Erscheinung, weil durch das hohe Wärmegefälle auch nach dem ersten Anprall eine genügend hohe Verkokungsgeschwindigkeit gewahrt bleibt. Die Breite und Ausbildung der Randzone gibt demnach einen Anhalt für den Wärmezustand des Koksofens.

2. Betrachtungen über grundlegende Forderungen der Verfahrenstechnik.

Für die Verfahrenstechnik weisen die Modellversuche also darauf hin, daß für die wärmeempfindlichen oberschlesischen Sattelflözkohlen der rechteckige Kammerquerschnitt bei dem verhältnismäßig kleinen Wärme-

gefälle der Mittel- und Tieftemperaturverkokung nicht angebracht erscheint, und zwar aus folgenden Ueberlegungen:

In rechteckigen Ofenkammern schreitet die Verkokung parallel zu den Heizwänden in das Innere des Kohlenbesatzes vorwärts. Eine Flächeneinheit der Heizwand hat also vom Beginn bis zum Ende der Verkokung die gleiche Flächeneinheit der von der Wand sich entfernenden Teernaht mit Wärme zu versorgen. Bei einem durch die Temperatur der Heizwand festgelegten Temperaturgefälle wird die Wärmenachlieferung zur Teernaht mit fortschreitender Verkokung immer langsamer, einmal wegen der schlechten Wärmeleitfähigkeit des gebildeten Kokses an sich, des weiteren auch dadurch, daß sich in dem gebildeten Koks noch physikalische und chemische Vorgänge abspielen, die ihrerseits Wärme verbrauchen. Die Verkokungsgeschwindigkeit wird sich mit fortschreitender Verkokung also immer mehr verlangsamen, und es ist einleuchtend, daß schon kleine Störungen in der Wärmenachlieferung die Verkokungsgeschwindigkeit unter das erforderliche Maß herabdrücken können.

Wesentlich günstiger liegen die Verhältnisse bei der Verwendung von runden Schwelrohren. Die größte Flächenausdehnung besitzt die Teernaht zu Beginn der Verkokung, wobei ihre Fläche der Innenfläche des Schwelrohres entspricht. Mit fortschreitender Verkokung verschiebt sich die Teernaht konzentrisch in das Innere des Kohlenbesatzes, und ihre Fläche wird, entsprechend der Formel $2 \cdot \pi \cdot r$ für den Umfang eines Kreises, linear zum kleiner werdenden Halbmesser immer geringer, wogegen die wärmeaufnehmende Fläche des Schwelrohres und die durch sie aufgenommene Wärmemenge konstant bleiben. Die Gefahr, daß die von der Wand sich entfernende Teernaht eine für einen guten Schmelzfluß nicht mehr ausreichende Wärmezufuhr erhält, ist bei der Verkokung in zylindrischen Rohren oder Rohrabschnitten demnach wesentlich geringer als bei der Verkokung in rechteckigen Kammern.

Aus diesen Ueberlegungen heraus wurde für die vergleichenden Untersuchungen von 7 oberschlesischen Kohlen die im Laboratorium vorhandene Schwelapparatur nach Wölbling (Abbildung 2) benutzt, die verfahrenstechnisch den gestellten Anforderungen entsprach. Die Verkokung geschah in einem Rohr von 1000 mm Länge und 120 mm lichter Weite, und durch den starken Chamotte-Mantel des Ofens war eine genügend große Wärmekapazität des Ofens sicher gestellt. Das ursprünglich vorgesehene Schwelrohr aus Quarz wurde wegen der besseren Wärmeleitfähigkeit des Eisens durch ein starkes Eisenrohr ersetzt.

3. Verkokungsversuche im Schwelofen nach Wölbling.

Da die Kohlen der Sattelflöze nur im Stampfbetriebe einen brauchbaren Koks ergeben, wurde auch bei den Versuchen bei diesen Kohlen (O -B) mit einer Stampfdichte von 900–950 kg/m³, auf Trockenkohle bezogen, gearbeitet. Bei der guten Kokskohle G wurde die bei dieser im Schüttbetrieb erreichte Dichte von etwa 750 kg/m³, bei Kohle A, die ohne Verdichtung nicht mehr auskommt, eine Stampfdichte von 850 kg/m³ gewählt. Der Wassergehalt schwankte mit wenigen Ausnahmen zwischen 7,5 und 9%.

Um die Bedingungen des Betriebes nachzuahmen, wurde der Schwelofen zunächst bis zur Verkokungstemperatur aufgeheizt und dann das mit der Besatzkohle gefüllte Schwelrohr in den heißen Ofen eingeführt. Die Modellverkokungen in der Muffel hatten gezeigt, daß aus den Backkohlen der Sattelflöze nur dann ein guter Koks erhalten wird, wenn eine bestimmte mittlere Verkokungsgeschwindigkeit, die bei etwa 10 mm/Std.

liegt, nicht unterschritten wird. Deshalb wurde der Temperaturanstieg bei den Hauptversuchen so gewählt, daß folgende mittlere Verkokungsgeschwindigkeiten erhalten wurden:

bei der 600°-Verkokung: 9,2—10,4 mm/Std.
„ „ 800°- „ : 12,6—14,1 „
„ „ 950°- „ : 17,2—19,0 „

Legt man der Berechnung der mittleren Verkokungsgeschwindigkeit dagegen die Zeit zugrunde, in der das Innere des Kohlenbesatzes die Temperatur von 500° C erreichte, d. h. die Koksbildung beendet ist, so ergeben sich für die Versuche folgende Werte:

bei der 600°-Verkokung: 14,6—15,2 mm/Std.
„ „ 800°- „ : 21,1—25,5 „
„ „ 950°- „ : 31,4—36,4 „

Im *praktischen Betriebe* wird bei breiten Oefen, wie sie normalerweise vorhanden sind, die aus der „Garungszeit" berechnete mittlere Verkokungsgeschwindigkeit mit der tatsächlichen mittleren Verkokungsgeschwindigkeit ungefähr übereinstimmen, denn auch bei guter Ausgarung findet sich in der Teernaht noch Koks mit einem verhältnismäßig hohen Gehalt an flüchtigen Anteilen, d. h. daß die Teernähte sich erst in den letzten Garungsstunden geschlossen haben müssen und daß daher die Ungenauigkeit in der Zeitbestimmung verhältnismäßig gering ist. Anders ist es bei den Versuchen, bei denen auf eine möglichst vollständige Entgasung auch der inneren Koksschichten geachtet werden konnte und bei denen bei der kurzen Versuchsdauer von 3½ bis 6 Stunden der Zeitunterschied zwischen Wiederverfestigung der Kohlenschmelze und vollständiger Ausgarung eine erhebliche Rolle spielt. Deshalb ist es richtiger, die an zweiter Stelle genannten, höheren mittleren Verkokungsgeschwindigkeiten bei den Versuchen als maßgebend zu betrachten.

4. Versuchsergebnisse.

a) Aussehen der Versuchskokse.

Ueber das Aussehen des Koks aus den Versuchskohlen bei den drei verschiedenen Verkokungstemperaturen unterrichtet die beiliegende Zusammenstellung und die Abbildungen 3—5. Der bei 600° hergestellte Koks ist, mit Ausnahme des A, stets von dunkelglänzender Farbe, die bei den höheren Verkokungstemperaturen in hellgrau bis silbergrau übergeht. Beim Koks aus Kohle G ist auffällig, daß er bei allen Verkokungstemperaturen ein mattes, stumpfes Aussehen hat, das nach längerem Lagern noch deutlicher hervortritt.

Bemerkenswert ist, daß die backenden bis mäßig backenden Gasflammkohlen O—F auch bei der 600°-Verkokung einen gut geflossenen Koks ergeben, ein Beweis dafür, daß bei hoher Stampfdichte und genügend hoher Verkokungsgeschwindigkeit in rohrartigen Kammern auch aus diesen Kohlen ein brauchbarer Tieftemperaturkoks erhalten werden kann. Bei der wenig backenden Gasflammkohle L hatten schon die Kistenverkokungen gezeigt, daß aus dieser Kohle, selbst bei hohen Verkokungsgeschwindigkeiten ein völlig unzureichender Koks erhalten wird, was die Hauptversuche wiederum bestätigen. Der Koks ist nur gesintert und außerordentlich stark zerreiblich. Bei der Besprechung der Bildsamkeitskurven nach Foxwell wurde schon darauf hingewiesen, daß die Kohle L vor dem Erweichungspunkt (Anstieg der Kurve) eine deutliche Entgasungsspitze besitzt, woraus auf eine vorzeitige Zersetzung des Festbitumens zu schließen ist. Nach der heute geltenden Anschauung überschneiden sich

Aussehen der Kokse des Hauptversuches.

600°-Koks	800°-Koks	950°-Koks
	Koks G:	
grau-glänzend	hellgrau	mattgrau
gut geschmolzen	gut geschmolzen	gut geschmolzen
mittel- bis kleinstückig	mittelstückig	mittelstückig
getrieben u. gebläht	grob rissig	längs- und querrissig
Wärmeschock:		
Randzone 10 mm, nicht gesintert (etwas gebläht) platzt leicht ab	Randzone 3 mm, schwach sichtbar, nicht gesintert, großporig-weich.	nicht zu sehen; äußerste Zone etwas großporiger.
Teernaht:		
großporig-schaumig.	noch großporig-schaumig, nicht mehr so breit wie bei 600°	großporig, nicht mehr so breit wie vorher; etwas dunkler.
Koks G ist dunkler und matter als alle anderen Kokse. Beim Liegen dunkelt er etwas nach.		
	Koks A:	
hellgrau	hellgrau	silbergrau
gut geschmolzen	gut geschmolzen	gut geschmolzen
kleinstückig, z. T. mittelstückig	mittel- bis großstückig	mittelstückig
porös wie G	dicht	dicht
rissig	rissig	längs- und querrissig
Wärmeschock:		
10 mm breite Randzone, porös; platzt leicht ab.	5 mm breite Randzone, großporig, aber hell u. gut geschmolzen.	nicht zu sehen; Randzone etwas großporiger
Teernaht:		
porös-schaumig wie G (nicht ganz so stark)	weniger schaumig wie G, doch noch großporig hervortretend.	dunkel, etwas großporiger, nicht so breit wie bei 800°
	Koks O:	
dunkel-glänzend	matt- bis silbergrau	silbergrau
gut geschmolzen	gut geschmolzen	gut geschmolzen
mittel- bis großstückig	großstückig	mittelstückig
dicht	sehr dicht	sehr dicht
wenig rissig	feinrissig	hauptsächl. längsrissig
Wärmeschock:		
ganz schwach ausgeprägt	nicht zu sehen; glatt durchgeschmolzen	nicht zu sehen, glatt durchgeschmolzen
Teernaht:		
etwas dunkler, kleinporig	dunkel-kleinporig.	dunkel-kleinporig

600°-Koks	800°-Koks	950°-Koks
Koks H:		
dunkel-glänzend	hellgrau	silbergrau
gut geschmolzen	gut geschmolzen	gut geschmolzen
großstückig	großstückig	mittelstückig
wenig rissig	feinrissig	hauptsächl. längsrissig
Wärmeschock:		
schwach ausgeprägt	nicht zu sehen, nur an Stellen, die nicht gut verdichtet sind, etwas gesintert.	nicht zu sehen
	30 mm dunkelglänzend wenig ausgeprägt.	dunkel-feinporig.
Koks F:		
dunkel-glänzend	grau-glänzend	hellgrau
im allgemeinen gut geschmolzen	im allgemeinen gut geschmolzen	gut geschmolzen
großstückig	großstückig	mittelstückig
wenig rissig	feinrissig	längs- und stärker querrissig
Wärmeschock:		
Randzone angedeutet	nicht zu sehen	nicht zu sehen
Teernaht:		
nur schwach ausgeprägt.	etwas dunkler, wenig ausgeprägt.	etwas dunkler, kleinporig.
Koks L:		
schwarz	schwarz	schwarz
gesintert	gesintert	gesintert
zerfällt bei geringer Beanspruchung	zerreiblich	zerreiblich
Koks L ist in jeder Hinsicht völlig ungenügend.		
Koks B:		
dunkel-glänzend	silbergrau	silbergrau
gut geschmolzen	gut geschmolzen	gut geschmolzen
großstückig	mittelstückig	mittelstückig
wenig rissig	grob-rissig	längs- und wenig querrissig
Wärmeschock:		
Randzone: 5 mm gesintert: 5 mm	Randzone 5 mm, schwach sichtbar	nicht zu sehen
Teernaht:		
dunkel, z. T. großporig.	etwas dunkler, kleinporig.	hell, schwach ausgeprägt.

bei guten Kokskohlen die Verdampfung des Oelbitumens mit der Zersetzung des Festbitumens. Geht die Zersetzung des Festbitumens vor der Verdampfung des Oelbitumens vor sich, wie es bei geologisch jungen Kohlen der Fall ist, so tritt keine Aenderung im Gefüge der Kohlen ein. Dieser Fall liegt bei der Kohle L vor. Wenn diese Kohle trotzdem eine Backfähigkeit von 13 zeigt, so liegt das daran, daß bei der Backfähigkeitsbestimmung die Kohle innerhalb weniger Minuten von Außentemperatur auf 900° erwärmt wird und daß bei diesem sprunghaften Temperaturanstieg sich einzelne Entgasungszonen, wie Vorentgasung und Hauptentgasung, gar nicht ausbilden können. Die Backfähigkeitszahlen sind also obere Grenzwerte.

Der „Wärmeschock" (d. h. die sichtbare Ausbildung einer Zone geringer Verkokungsgeschwindigkeit) macht sich vornehmlich bei Kohle H bemerkbar, während die anderen Kohlen glatt durchgeschmolzen sind. Demnach muß Kohle H als besonders wärmeempfindlich angesprochen werden.

In ihrem Aussehen besonders erwähnt werden müssen die Kokse der gut backenden Kohlen G und A. Der Schmelzfluß der Kokse ist einwandfrei, jedoch weichen sie in der Gefügeausbildung von den Sattelflözkohlen ab. Die äußerste Randzone ist meist etwas großporiger als das übrige Koksstück und platzt sehr leicht ab. Die Poren der Kokse G und A sind im allgemeinen etwas größer als die der Sattelflözkohlen. Auffallend ist bei Koks G eine deutliche Porenschichtung, die eine Auswirkung des Treibdruckes auf die bildsame Kohle ist.

b) Elementaranalyse der Versuchskokse.

In der chemischen Zusammensetzung unterscheiden sich die Versuchskokse nicht wesentlich (Zahlentafel 3). Der Kohlenstoffgehalt schwankt bei den einzelnen Verkokungstemperaturen nur in engen Grenzen; er steigt mit steigender Verkokungstemperatur. Der Wasserstoffgehalt sinkt mit steigender Verkokungstemperatur und liegt mit etwa 3 % bei der 600°-Verkokung und rund 1 % bei der 950°-Verkokung bei den einzelnen Kohlen wenig unterschiedlich. Ebenso sind die Unterschiede im Stickstoffgehalt bei den Kohlen nur gering, ohne daß irgendwelche Abhängigkeiten festgestellt werden können.

Für metallurgische Zwecke, z. B. für den Hochofenbetrieb, bei dem ein möglichst schwefelarmer Koks nötig ist, ist wichtig festzustellen, daß die Kokse der Sattelflözkohlen (O–L) mehr Schwefel enthalten als die Kokse der Kohlen G und A, wie auch schon diese beiden Ausgangskohlen den geringsten Gesamtschwefelgehalt zeigen. Besonders zu erwähnen bleibt aber noch Kohle O, die durch die Verkokung einen starken Verlust an Gesamtschwefel (von 1,21% auf 0,98%) erlitten hat, während bei den anderen Sattelflözkohlen durch die Verkokung teilweise sogar eine Erhöhung des Gesamtschwefelgehaltes eintrat. Außerdem sind die Tief- und Mitteltemperaturkokse im allgemeinen stärker entschwefelt als die Hochtemperaturkokse.

Wie bei der Ausgangskohle, haben auch die Kokse der Kohle G die niedrigsten Gehalte an Sauerstoff, während die Kokse der Sattelflözkohlen untereinander praktisch gleiche Werte aufweisen. Bei allen Kohlen, außer der Betriebsmischung B, nimmt mit steigender Verkokungstemperatur der Gehalt an Sauerstoff ab.

c) Festigkeit der Versuchskokse.

Die Festigkeitsprüfung der Kokse erstreckte sich einmal auf die Untersuchung der Sturzfestigkeit, die ein Maß ist für die Rissigkeit eines

Zahlentafel 3. Kennzahlen der Kokse des Hauptversuches.

	G			A			O			H			F			L			B		
	600°	800°	950°	600°	800°	950°	600°	800°	950°	600°	800°	950°	600°	800°	950°	600°	800°	950°	600°	800°	950°
Asche .....%	7,7	7,9	8,3	5,1	5,4	4,9	9,6	9,5	9,4	12,9	13,5	13,0	15,9	14,4	16,2	13,0	11,2	12,4	10,8	11,9	11,4
Elementaranalyse:																					
Reinkoks { Kohlenstoff .....%	90,5	92,1	95,00	88,10	91,40	94,50	90,10	91,10	92,70	90,20	92 30	92,90	88,90	91,40	92,90	90,10	91,10	93,30	90.50	95,20	92,90
Wasserstoff .....%	2,8	1,5	0,98	3,40	1,85	0,95	2,93	1,88	1,10	3,10	1,55	1,38	3,09	1,63	0,95	2,64	1,91	1,03	2,86	1,25	1,24
Stickstoff .....%	1,9	1,5	1.48	0,74	1,24	1,11	1,10	1,27	1,04	0,94	0,69	1,04	1,55	1,09	0,98	1.32	1,57	0,92	1 91	1,36	1,13
Sauerstoff .....%	4,8	4,9	2,54	7,76	5,51	3,44	5,87	5,75	5,16	5,76	5,46	4,68	6,46	5,88	5,17	5,94	5,42	4,75	4,73	2,19	4,73
	100.—	100.—	100, -	100, –	100 —	100, -	100,—	100,	100. -	100,—	100, –	100,—	100, –	100,—	100,	100,—	100, –	100. –	100,—	100, –	100,—
Gesamtschwefel .....%	0,85	0,83	0,86	0,81	0,85	0,83	0,97	0,99	0,98	0,92	1,21	1,20	1,00	0,91	1,10	1,06	0,98	1,10	0,91	1,03	1,00
Flüchtige Bestandteile (Reinkoks).....%	6,3	4,35	3,3	12,85	4,85	4,70	12,2	6,0	5,9	9,4	4,8	4,2	17.8	4,9	6,7	7,75	10,7	5,4	9,2	3,7	5,9
Reaktionsfähigkeit:																					
bei 600°.....%	2	1	1	5	1	1	8	1	4	7	1	0,6	4	1	0.6	5	1	0,9	4	1	1
„ 700°.....%	13	11	2	38	12	3	30	13	8	31	6	2	25	7	2	35	3	3	26	4	4
„ 800°.....%	38	40	20	52	50	28	57	53	40	56	44	26	49	53	17	56	60	27	51	35	35
„ 900°.....%	73	72	61	80	84	75	82	84	79	86	82	81	79	84	67	87	84	80	82	81	79
Zündpunkt ..... °C	485	515	510	425	490	530	450	480	540	425	490	540	430	480	535	430	440	530	460	525	525
Spez. Gew. in Stücken..	0,630	0,913	1,155	0,744	0,931	0,840	0,787	0 909	0 917	0,775	0,914	0 987	0,838	0.940	0,742	0,765	0,811	0,967	0 787	0 933	0,800
„ „ im Pulver...	1,562	1,676	1,875	1,515	1,666	1,828	1,586	1,807	1,896	1,622	1,907	1,818	1,639	1,807	1,863	1,613	1,595	1,818	1,639	1,802	1,800
Porenraum.....%	59,67	45,53	38,40	50,89	44,12	54,07	50,36	49,70	51,64	52,22	52,19	45,7	48,87	47,98	60,17	52,58	49,15	46,8	51,98	48,22	55,6

Koksstückes, zweitens auf die Untersuchung der Abriebfestigkeit in der Nedelmann-Trommel, die die Festigkeit der Zellwände des Koks, also der eigentlichen Kokssubstanz, angibt.

Zur Prüfung der Sturzfestigkeit wurde 1 kg Koks auf 2 m Höhe 1+3-mal gestürzt und auf einem 30 mm- und 10 mm-Rundlochsieb abgesiebt. Das Korn über 30 mm, in Hundertteilen ausgedrückt, ist die Sturzfestigkeit, das Korn unter 10 mm der Abrieb. Die Werte nach dem ersten Sturz hängen hauptsächlich von der Menge und Ausbildung der groben Risse ab, während beim weiteren Stürzen immer mehr die feinen Risse und die inneren Spannungen des Koksstückes das Ergebnis beeinflussen.

Die Abriebfestigkeit der Kokssubstanz wurde in der Nedelmann-Trommel in der Weise bestimmt, wie sie Nedelmann in Glückauf 1932 (35) S. 770 vorschreibt. Für die Abriebfestigkeit gestattet Nedelmann bei zwei Trommelproben eine Abweichung von 2%. Bei den doppelt durchgeführten Bestimmungen stimmten die Werte meist wesentlich besser als auf 2% überein.

Die Ergebnisse der Festigkeitsuntersuchungen sind aus Abbildung 6 zu ersehen.

Sturzfestigkeit und Sturzabrieb.

In Abbildung 6 zeigt die gestrichelte Linie die Werte für die Sturzfestigkeit und den Abrieb nach dem ersten Sturz, die voll ausgezogene Linie die Werte nach viermaligem Stürzen.

Wie aus dem Schaubild zu ersehen ist, haben die gute Kokskohle G und die Betriebsmischung B nach einmaligem Sturz die höchsten Festigkeitswerte, d. h. diese beiden Kohlen sind bei allen Verkokungstemperaturen verhältnismäßig wenig rissig. Die Werte der anderen Kohlen liegen nur wenig tiefer und schwanken bei den einzelnen Verkokungstemperaturen, ohne daß eine bestimmte Gesetzmäßigkeit herausgelesen werden kann. In Verbindung mit der zweiten Kurve (nach viermaligem Stürzen) gibt aber die erste Kurve interessante Hinweise über die Koksbeschaffenheit. Wie schon erwähnt, werden sich nach mehrmaligem Stürzen die feinen Risse und die inneren Spannungen des Koksstückes im Ergebnis auswirken. Der Abstand der beiden Schaulinien kann demnach als Maßstab für die Feinrissigkeit und Splittrigkeit des Koksstückes gelten. Danach sind bei den Kohlen G und B die Unterschiede in der Sturzfestigkeit nach einmaligem und viermaligem Stürzen nur gering, d. h. die Kokse dieser Kohlen sind verhältnismäßig wenig splittrig. Während aber bei Kohle G die Splittrigkeit bei hohen Verkokungstemperaturen (hohen Verkokungsgeschwindigkeiten) geringer wird, hat die Betriebsmischung B, infolge ihres hohen Gehaltes an Sattelflözkohlen, bei hohen Verkokungsgeschwindigkeiten eine deutliche Neigung zu größerer Splittrigkeit. Der Koks der nächstbesten Kohle A zerschlägt nach viermaligem Stürzen schon mehr als der Koks G oder B. Aus dem gleichsinnigen Verlauf der Kurven ist zu entnehmen, daß die Rissigkeit bei den einzelnen Verkokungstemperaturen gleich stark ausgebildet ist. Der höhere Festigkeitswert bei der 800° Verkokung scheint durch Zufälligkeiten bedingt zu sein.

Ein besonderes Bild geben wieder die Backkohlen der Sattelflöze O, H und F, bei denen die Feinrissigkeit und Splittrigkeit von den tiefen zu den hohen Verkokungstemperaturen hin stark wächst. Diese Feststellung steht im Einklang mit den Erfahrungen im Betriebe, daß die Backkohlen der Sattelflöze bei der Hochtemperaturverkokung einen sehr rissigen und splittrigen und daher ausgesprochen kleinstückigen Koks ergeben. Die Festigkeits- und Abriebkurven der wenig backenden Gasflammkohle L bestätigen nur die außerordentlich schlechte Beschaffenheit des Koks aus dieser Kohle.

Bei den Abriebkurven fällt sofort auf, daß die Kokse der gut backenden Kohlen G und A bei den niedrigen Verkokungstemperaturen so hohe Werte zeigen, obgleich der Schmelzfluß der Kokse einwandfrei ist. Bei der Besprechung des Aussehens wurde darauf hingewiesen, daß diese Kokse im allgemeinen großporiger und nicht so dicht sind wie die anderen Kokse, daß die Teernaht besonders beim Tieftemperaturkoks schaumig anfällt und auch die Randzone porös ist. Bei höheren Verkokungstemperaturen wird der Koks dichter und fester. Daraus erklärt sich der Kurvenverlauf für den Abrieb. Der Koks aus Kohle O gibt beim Stürzen bei allen Verkokungstemperaturen gleichbleibende Abriebwerte. Beim Koks aus Kohle H steigt der Abrieb vom 600°- zum 800°-Koks, fällt dann aber beim 950°-Koks stark ab. Der Sturzversuch bestätigt also auch, worauf bei der Besprechung der Modellkokse schon hingewiesen wurde, daß bei der Kohle H oberhalb einer gewissen Verkokungstemperatur, die bei etwa 800° liegt, das Schmelzvermögen dieser Kohle sich wesentlich bessert. Beim Koks aus Kohle F liegt der Abrieb höher als bei den Koksen O oder H; er fällt mit steigender Verkokungstemperatur.

Abriebfestigkeit.

Die Ergebnisse der Abriebfestigkeit in der Nedelmann-Trommel zeigt Schaubild 6 Die geringe Abriebfestigkeit und der verhältnismäßig hohe Abrieb der 600°-Koks G und A weist, als Folge der großporigen Ausbildung, trotz des guten Schmelzflusses auf einen zerreiblichen Koks hin, doch schon beim 800°-Koks hat sich die Abriebfestigkeit der Kokse G und A wesentlich gebessert und liegt höher als bei sämtlichen anderen Koksen. Ganz allgemein steigt die Abriebfestigkeit mit steigender Verkokungstemperatur, und gleichzeitig fällt der Abrieb. Bemerkenswert ist, daß der Abrieb bei der 950°-Verkokung für alle Kokse außer L fast gleiche Werte ergibt. Kohle L liegt mit der niedrigsten Abriebfestigkeit und dem höchsten Abrieb auch hier wieder am schlechtesten. Die Betriebsmischung B besitzt bei hohen Festigkeitswerten die geringsten Unterschiede in der Abriebfestigkeit; sie wäre demnach für die Tieftemperaturverkokung ebenso gut geeignet wie für die Hochtemperaturverkokung.

d) Reaktionsfähigkeit.

Für Verbrauchszwecke aller Art, in denen dem Koks reine Verbrennungs- bezw. Gaserzeugungsaufgaben zukommen (also z. B. Zentralheizungen und Generatoren), steht die Bedeutung der Reaktionsfähigkeit des Kokses außer allem Zweifel, während für den Hochofen- und Kupolofenbetrieb die physikalischen Voraussetzungen (Festigkeit und Abrieb des Kokses) wesentlich wichtiger erscheinen als die Reaktionsfähigkeit [7]). In einem Hochofenbetrieb z. B. ergaben längere Versuche, die mit Gießereikoks an Stelle des gewöhnlichen Hochofenkokses durchgeführt wurden, keinen Betriebsunterschied, so daß man dort dem Einfluß der Reaktionsfähigkeit des Kokses auf den Hochofengang keine maßgebende Bedeutung mehr beimißt. [8]) Auch Jungbluth-Klapp [9]) haben durch betriebsmäßige Versuche im Kupolofen festgestellt, daß die im Laboratorium erhaltenen Unterschiede in der Reaktionsfähigkeit für den praktischen Betrieb des Kupolofens ohne Bedeutung sind.

Das Versagen der laboratoriumsmäßigen Reaktionsfähigkeitsbestimmung für den Hochofen- und Kupolofenbetrieb liegt einmal daran, daß der Koks dort bei hohen Temperaturen verbrennt (1400—1800°), und in diesen Aggregaten nicht nur Brennstoff, sondern auch Träger der Beschickungssäule ist und darüber hinaus die Aufgabe hat, die Beschickung gasdurchlässig zu machen; zum anderen liegt es daran, daß die Laboratoriums-

methoden einzelne, für den praktischen Betrieb wichtige Einflußgrößen, wie z. B. Stückgröße, Oberflächenbeschaffenheit und Porigkeit aus technischen Gründen nicht genügend berücksichtigen können. Ueber diese Einflüsse stellt Mott [10]) fest, daß die Verbrennungsgeschwindigkeit von Koks von der Oberflächenbeschaffenheit und der Stückgröße abhängig ist, wobei zu beachten ist, daß die Verbrennung nur an der Oberfläche und in den Poren bis zu 3 mm Tiefe erfolgt. Daher fordert Mott für Laboratoriumsuntersuchungen eine Korngröße von mindestens 12 mm. Man ist auch vereinzelt dazu übergegangen, die Reaktionsfähigkeit des Kokses in eigens dafür gebauten Schachtöfen mit technischen Körnungen zu bestimmen. [11], [12]) Dieses Verfahren gibt zweifellos das beste Bild über die Reaktionsfähigkeit eines Brennstoffes; leider wird sich seine allgemeine Anwendung aus naheliegenden Gründen nicht überall verwirklichen lassen. Deshalb werden auch noch weiterhin die Laboratoriumsmethoden, trotz ihrer offensichtlichen Mängel, zur schnellen Bestimmung der Reaktionsfähigkeit eines Brennstoffes in Gebrauch bleiben müssen. Nur muß man sich darüber klar sein, daß infolge der bei diesen Methoden notwendigerweise angewandten kleinen Körnungen im Wesentlichen nur die Reaktionsfähigkeit der Substanz des Brennstoffes festgestellt wird, die man als „spezifische Reaktionsfähigkeit" bezeichnen könnte.

Die Reaktionsfähigkeit von Koks wird im Laboratorium nach zwei großen Verfahrensgruppen bestimmt, wobei die erste Gruppe im geschlossenen System, die zweite Gruppe mit strömendem Gas und zerkleinertem Koks arbeitet. Die zweite Gruppe ist die gebräuchlichere, wobei als Reaktionsgase Kohlendioxyd, Sauerstoff, Luft oder Wasserdampf verwendet werden. Die mit Kohlendioxyd erhaltenen Werte sind mit denjenigen mit Sauerstoff oder Luft erhaltenen vergleichbar, wie Bunte [13]), Bähr und Fallböhmer [14]) und auch Nettlenbusch [15]) gezeigt haben. Rösli [16]) sowie Sensicle [17]) haben die Uebereinstimmung beim Arbeiten mit Kohlendioxyd und Wasserdampf nachgewiesen. Bei diesen Verfahren kann sich das der Natur der Kokssubstanz entsprechende Gleichgewicht infolge der Strömungsgeschwindigkeit der Reaktionsgase in der Regel nicht ausbilden; man muß sich deshalb mit einem für die Praxis genügend genauen, wiederholbaren Beharrungszustand begnügen. Die Einstellzeit für das Gleichgewicht ist von Neumann v. Ahlen [18]) für 45,8 ccm Koks bei 3 l stündlichem Durchgang mit 8—9 Stunden, bei 1 l Strömungsgeschwindigkeit mit 6—7 Stunden angegeben, also mit Zeiten, die für Reihenuntersuchungen nicht aufgewendet werden können. Es werden sich also gewisse Schwankungen bei der Reaktionsfähigkeitsbestimmung in der Praxis, die bei den vorliegenden Untersuchungen etwa ± 2% betrugen, nicht vermeiden lassen.

Bei den Versuchen wurde die Reaktionsfähigkeit nach dem im Hauptlaboratorium der Borsig-Kokswerke A. G. eingeführten Verfahren von Koppers festgestellt, bei dem 45 ccm Koks in der Körnung 0,5—1 mm von CO_2 mit einer Strömungsgeschwindigkeit von 2,6 l in der Stunde durchströmt wurde. Die Anheizzeit betrug 1½ St., die Haltezeit bei der jeweiligen Temperatur 15 Minuten, während die Erhöhung der Temperatur zur nächst höheren Reaktionstemperatur innerhalb 20 Minuten vorgenommen wurde.

Die Modellversuche sollten in erster Linie die Abhängigkeiten der Reaktionsfähigkeit klarstellen.

Einfluß der Verkokungstemperatur.

Der Einfluß der Verkokungstemperatur auf die Reaktionsfähigkeit ist aus Zahlentafel 4 zu ersehen. Daraus ergibt sich eindeutig, daß die bei niedrigen Temperaturen hergestellten Kokse viel eher und stärker mit dem

Zahlentafel 4. Reaktionsfähigkeiten, Flüchtige Bestandteile und Zündpunkte der Modell-Koks.

Verkokungstemp. °C	Reaktionsfähigkeit bei 700° G %	L %	H %	800° G %	L %	H %	900° G %	L %	H %	1000° G %	L %	H %	Asche G %	L %	H %	Flüchtige Bestandteile aschefrei G %	L %	H %	Zündpunkte (mit Luft) G %	L %	H %
Koks gar (unflotiert)																					
500	25	34	48	49	52	60	69	87	86	94	98	97	7,8	12,0	9,7	13,1	18,6	20,6	445	385	390
600	25	33	36	43	42	63	67	81	87	92	98	98	7,8	12,1	10,6	8,2	14,1	15,3	490	395	420
700	14	14	29	48	45	61	70	68	89	92	98	99	8,0	13,9	11,6	6,3	11,4	10,4	505	480	460
800	8	11	15	42	48	58	72	88	88	94	98	98	8,5	14,8	11,7	2,6	6,2	7,5	530	480	490
900	4	6	3	32	43	35	71	89	83	94	98	96	8,4	15.6	11,5	2,4	5,2	6,8	550	500	505
1000	1	5	2	17	28	17	57	86	68	92	98	96	8,5	16,3	11,6	2,2	4,1	4,6	575	530	545
Koks übergar (unflotiert)																					
500	26	31	53	45	55	61	64	88	86	93	97	97	7,8	12,8	10,2	10,6	16,3	15,9	470	390	395
600	23	16	44	51	43	5’	72	83	85	93	97	98	7,8	13,7	11,4	6,1	12,5	12,5	520	425	440
700	9	17	13	42	39	50	71	85	90	93	97	98	8,2	15,0	11,6	4,6	8,0	8,3	525	465	490
800	4	3	6	28	30	40	71	89	86	94	97	98	8,5	15,8	11,9	2,6	5,2	6,4	560	490	510
900	2	3	3	17	24	22	59	83	69	94	97	97	8,5	15,9	11,8	2,2	3,7	5,1	560	520	525
1000	1	3	1	11	16	10	42	72	51	95	97	96	8,6	15,7	11,6	2,2	2,9	3,5	590	520	545
Koks gar (flotiert)																					
500	17		25	32		60	59		87	89		97	4,7		3,4	12,1		18,0	455		395
700	18		34	32		61	58		78	87		97	4,9		3,5	11,1		12,1	450		430
700	12		19	37		50	60		85	89		98	4,8		3,6	7,7		8,3	485		480
800	7		15	35		57	59		90	84		98	5,0		3,5	6,8		6,5	515		490
900	4		6	30		36	65		87	89		98	5,3		3,6	5,6		5,2	545		530
1000	1		3	15		19	52		73	90		98	5,5		4,1	3,9		3,7	570		540
Koks übergar (flotiert)																					
500	17		33	32		53	57		86	86		97	4,6		3,2	11,1		14,4	445		415
600	20		34	34		58	59		87	89		97	4,7		3,8	8,5		10,6	485		440
700	6		13	35		52	59		88	91		98	4,8		3,6	6,8		6,1	520		485
800	2		7	22		43	66		89	90		98	5,1		3,7	5,4		4,4	540		495
900	1		4	10		20	42		77	89		98	5,3		4,0	3,4		4,1	565		530
1000	1		2	7		9	32		51	82		97	5,5		4,2	2,6		2,2	580		545

Reaktionsgas reagieren als die Hochtemperaturkokse. Mit sinkender Verkokungstemperatur steigt also die Reaktionsfähigkeit, und zwar steigt sie bei den Koksen H und L wesentlich stärker als bei Koks G. Es rührt dies daher, daß die Kohle G ein viel besseres Schmelzvermögen besitzt als die beiden anderen Kohlen und daß dadurch den Kohlenstoff-Randatomen eine bessere Möglichkeit der Absättigung gegeben ist [19]) (siehe auch: Graphitierungstheorie von Koppers-Jenckner!) [20]). Das schlechte Schmelzvermögen der Kohle H und L ergibt ungesättigte Randatome, die die Reaktionsfähigkeit heraufsetzen.

Weiter zeigen die Versuchsergebnisse, daß bei verschiedener Höhe der Verkokungstemperatur nur dann unterschiedliche Werte für die Reaktionsfähigkeit erhalten werden, wenn diese bei einer Temperatur bestimmt wird, die höchstens gleich oder tiefer als die niedrigste Verkokungstemperatur ist. Wird die Reaktionsfähigkeit bei Temperaturen bestimmt, die höher als die Verkokungstemperatur liegen, so werden sich (je nach der Höhe der Temperatur) noch mehr oder minder große Mengen flüchtiger Bestandteile entwickeln, die die Reaktionsfähigkeit beeinflussen (herabsetzen), sei es durch direkte Reaktion mit dem Reaktionsgas, wahrscheinlicher aber auf dem Umweg über ihre Zersetzung und das dadurch bedingte Abscheiden von Kohlenstoff. In der Literatur ist auf das Abscheiden von Kohlenstoff aus zersetzten Gasen mehrfach hingewiesen worden. Auch durch nachträgliches Behandeln von Koks mit Gasen wie CO, CH_4, C_2H_4 bei hohen Temperaturen hat Cobb [21]) eine Kohlenstoffabscheidung erhalten, durch die die Reaktionsfähigkeit herabgesetzt wird. Beim Spalten von z. B. CH_4 nach $CH_4 \lesssim C + 2H_2$ entsteht immer die energieärmere Kohlenstoffart. Der sogenannte amorphe Kohlenstoff hat eine Verbrennungswärme von 8020 kcal, während der Graphit eine solche von 7855 kcal besitzt. Es wird sich also bei jeder Zersetzung vorzugsweise schwer reagierender Graphit abscheiden.

Wie die Zahlentafel 4 weiter zeigt, übt das Ueberstehen des Koks auf die Reaktionsfähigkeit auch einen deutlichen Einfluß aus. Am stärksten wirkt es sich bei den hohen Verkokungstemperaturen von 900 und 1000° aus, bei denen die Reaktionsfähigkeit des übergestandenen Koks stets wesentlich tiefer liegt als die des nicht übergestandenen. Bei 1000° Reaktionstemperatur ist jedoch ein Unterschied zwischen garem und übergarem Koks nicht mehr vorhanden. Bei Verkokungstemperaturen von 800° abwärts macht das Ueberstehen nichts mehr aus, wenn die Reaktionsfähigkeit bei 900° bestimmt wird; bei Verkokungstemperaturen von 600 und 500° zeigt garer und übergarer Koks in der Reaktionsfähigkeit keine Unterschiede. Allgemein kann man sagen, daß der Einfluß des Ueberstehens in den Reaktionsfähigkeitszahlen nicht zum Ausdruck kommt, wenn die Reaktion mit CO_2 bei einer Temperatur vor sich geht, die höher als die Verkokungstemperatur liegt; sonst wirkt das Ueberstehen im Sinne einer Verringerung der Reaktionsfähigkeit.

Reaktionsfähigkeit und Asche.

Kohle H weist flotiert und unflotiert keine Unterschiede in der Höhe der Reaktionsfähigkeit auf. Bei flotierter Kohle G ist dagegen ein deutliches Abnehmen des Wertes gegenüber der unflotierten Kohle zu ersehen, im Durchschnitt um rund 10 %.

Der Aschgehalt der Kohle G hatte bei der Flotation um 3 % (von 6,5 auf 3,5 %) abgenommen. Daß diese Verringerung der Aschenmenge auf die Reaktionsfähigkeit nicht von Bedeutung ist, bewiesen die Versuche mit Kohle H. Obgleich bei dieser Kohle der Aschegehalt durch die Flotation sogar um 5,6 % (von 8.2 auf 2.6 %) gesenkt wurde, ist ein Unter-

schied in den Reaktionsfähigkeiten keineswegs eingetreten. Die Werte für die Reaktionsfähigkeit des Koks aus unflotierter und flotierter Kohle H sind, wenn ein Spielraum von ± 2 % zugelassen wird, von guter Uebereinstimmung.

Wenn nicht die Aschenmenge die Reaktionsfähigkeit beeinflußt, kann nur noch eine Aenderung der Aschenzusammensetzung bei der Flotation eingetreten sein, die sich bei der Reaktionsfähigkeitsbestimmung auswirkt.

Es ist bekannt und von vielen Forschern nachgewiesen, daß die verschiedenen anorganischen Bestandteile der Koksaschen bei der Feststellung der Reaktionsfähigkeit eine Rolle spielen. Bunte-Windorfer [22]) haben eine übersichtliche Zusammenstellung der Forschungsergebnisse gegeben.

Aus den Ergebnissen der Flotation der beiden untersuchten Kohlen G und H kann nun geschlossen werden, daß die Asche bei der Kohle G in sehr feiner Verteilung vorliegt und mit der Kohlensubstanz eng verwachsen und daher schwer auszuwaschen ist, während bei Kohle H die Aschebildner mehr grobe Verunreinigungen bilden, weniger in das Feingefüge der Kohle eingreifen und daher leichter von dieser zu trennen sind. Es ist deshalb zu erwarten, daß der katalytische Einfluß der Asche bei Kohle G stärker sein wird als bei Kohle H.

Ueber den Einfluß der Asche geben Neumann-v. Ahlen [23]) an, daß als Stoffe, die die Reaktionsfähigkeit erhöhen, das Eisenoxyd, besonders aber Alkalien und CaO maßgebend sind, während SiO_2 und Al_2O_3 die Reaktionsfähigkeit herabsetzen. Nach Askey-Doble [24]) soll Soda (Alkali) katalytisch wirksam sein, während Kalk in der Hauptsache die sauren Eigenschaften der Aschen beseitigt. Ist wenig oder keine Asche da, so kann der Kalk auch wegfallen.

Für die beiden Versuchskohlen G und H ist aus der folgenden Gegenüberstellung das Verhältnis der reaktionshemmenden bezw. -fördernden Bestandteile vor und nach der Flotation zu ersehen.

Zahlentafel 5: Verhältnis der reaktionshemmenden und -fördernden Anteile in der Koksasche der Kohlen G und H.
(Garer, (nicht übergestandener) Koks).

	reakt.-hemmende Anteile $SiO_2+Al_2O_3$			reakt.-fördernde Anteile $Fe_2O_3+CaO+MgO+$ Alkali			Asche im Koks
	Gesamt %	Zunahme absolut %	Zunahme bezogen %	Gesamt %	Abnahme absolut %	Abnahme bezogen %	%
1000°-Koks, unflotiert . .	67,25	—	—	26 77	—	—	8,5
G flotiert . . .	75,85	+ 8,60	+12,8	21,00	— 5,77	—21,6	5,5
800°-Koks, unflotiert . .	66,17	—	—	26,61	—	—	8,5
G flotiert . . .	76,90	+10,73	+16,2	21,04	— 5,57	—20,9	5,0
500°-Koks, unflotiert . .	65,58	—	—	25,50	—	—	7,8
G flotiert . . .	76,74	+11,16	+17,0	20,52	— 4,98	- 19,6	4,7
1000°-Koks, unflotiert . .	53,66	—	—	34,08	—	—	11,6
H flotiert . . .	59,00	+ 5,34	+10,0	31,85	— 2,23	— 6,5	4,1
800°-Koks, unflotiert . .	53,60	—	—	34,50	—	—	11,7
H flotiert . . .	61,35	+ 7,75	+14,5	29,90	— 4,60	—13,4	3,5
500°-Koks, unflotiert . .	53,80	—	—	34,80	—	—	9,7
H flotiert . . .	60,58	+ 6,78	+12,6	28,50	— 6,30	—18,1	3,4

Aus der Zahlentafel 5 ist zunächst zu entnehmen, daß die Kokse G wesentlich mehr reaktionshemmende Bestandteile (SiO_2 + Al_2O_3) und weniger reaktionsfördernde Bestandteile (Fe_2O_3 + CaO + MgO + Alkali) besitzen als die Kokse H. Aus diesem Grunde, in Verbindung mit der feineren Verteilung der Asche bei Koks G, ist zu erwarten, daß schon geringe Abnahmen in der Menge der fördernden Bestandteile sich bei Koks G stärker auswirken müssen als bei Koks H. Wenn schon der absolute Wert der Zu- und Abnahme der reaktionshemmenden bezw. fördernden Bestandteile beim flotierten Koks G höher liegt als beim flotierten Koks H, so kommt der Unterschied noch deutlicher zum Ausdruck, wenn man die Zu- bezw. Abnahmen auf den Ausgangsgehalt an beiden Bestandteilen bezieht. Dann haben beim flotierten Koks H die reaktionshemmenden Bestandteile um 10,0 — 14,5 und 12,6 % zugenommen, beim flotierten Koks G um 12,8 — 16,2 und 17,0 %. Die reaktionsfördernden Bestandteile haben bei Koks H um 6,5 — 13,4 und 18,1 %, bei Koks G aber um 21,6 - 20,9 und 19,6 % abgenommen. Diese Zahlen begründen deutlich die Abnahme der Reaktionsfähigkeit beim flotierten Koks G und beweisen, daß nicht die Aschenmenge, sondern die Aschenzusammensetzung von wesentlichem Einfluß auf die Reaktionsfähigkeit ist, in dem Sinne, wie Neumann-v.Ahlen es angeben. Die übergaren Kokse ergeben dasselbe Bild.

Vergleicht man die Werte für die Reaktionsfähigkeit der Kokse aus den drei Kohlen untereinander (Zahlentafel 4), so sieht man, daß Koks G die tiefsten, Koks H die höchsten Werte hat, während Koks L sich in der Mitte hält. Das ist auf den ersten Blick verwunderlich, denn der Koks H ist bis zu den tiefsten Temperaturen (500°) deutlich geschmolzen, während Koks L selbst bei 1000° kaum geschmolzen ist. Man müßte also erwarten, daß durch das Schmelzen und die dadurch bedingte stärkere Graphitierung der Koks H tiefere Werte als der ungeschmolzene Koks L ergibt. Die Aschenzusammensetzung, bei der sich für den Koks L tatsächlich eine kleine Verschiebung zugunsten der reaktionshemmenden Anteile ergibt, kann wohl zu dem tiefen Wert dieses Kokses beitragen, in der Hauptsache ist es aber die sehr unterschiedliche Oberflächengestaltung, die alle anderen Einflüsse überdeckt. Der Koks H ist bei allen Temperaturen sehr feinporig, bietet also dem Reaktionsgas eine wesentlich größere Oberfläche als der Koks L, bei dem von einer „Porigkeit" nicht die Rede sein kann.

Diese Feststellung steht also im Einklang mit den Angaben von Mott [10], Speckhardt [12], u. a., daß die Reaktionsfähigkeit von Koks auch eine Funktion der Gefügeausbildung ist. Gleichzeitig ist aber beachtenswert, daß auch die Laboratoriumsmethode trotz der angewandten kleinen Korngrößen Unterschiede in der Gefügeausbildung zu erfassen vermag.

Bemerkenswert ist ferner, daß das Vorhergesagte nur für Verkokungstemperaturen bis zu 800° gilt. Schon bei der Beurteilung der Kokse nach dem Aussehen ist auf eine Aenderung der Verkokungseigenschaften der Kohle H oberhalb 800° geschlossen worden. Die Reaktionsfähigkeiten in Tafel 4 scheinen das auch zu bestätigen, denn der 900- und 1000° Koks von Kohle H liegt in der Reaktionsfähigkeit plötzlich tiefer als der entsprechende Koks L. Das konnte nur dadurch entstehen, daß das Schmelzvermögen der Kohle H bei den hohen Temperaturen (Verkokungsgeschwindigkeiten: 900° — 12,9 mm, 1000° — 20,9 mm) wesentlich besser war als bei Temperaturen unter 900°, und daß dadurch eine stärkere Graphitierung den Einfluß der Oberflächengestaltung, im Sinne einer Erniedrigung der Reaktionsfähigkeit, überdeckte. (Die 900- und 1000°-Kokse von Kohle H sind silberhelle, dichte und feste Hochtemperaturkokse).

Diese Aenderung der Verkokungseigenschaften bei niedrigen Temperaturen (Verkokungsgeschwindigkeiten) besteht bei Kohle G nicht (wenn man vom bleibenden Treibdruck bei 500 und 600° absieht) und scheint auch für Kohle L nicht zu bestehen, die für die Verkokung gleichbleibend ungeeignet ist.

Hatten die Modellverkokungen der drei charakteristischen oberschlesischen Kohlen ganz allgemein die Abhängigkeiten der Reaktionsfähigkeit, von den Verkokungsbedingungen angegeben, so sollten die Hauptversuche dazu dienen, diese Kokseigenschaft der sieben untersuchten oberschlesischen Kohlen bei gleichen Arbeitsbedingungen untereinander zu vergleichen. Die Werte sind aus Zahlentafel 3 zu ersehen.

Daraus ist zunächst zu entnehmen, daß die Reaktionsfähigkeit der guten Kokskohle G der Ostrauer Schichten im allgemeinen tiefer liegt als die Reaktionsfähigkeit der Sattelflözkohlen. Besonders der Tieftemperaturkoks der Kohle G ist bedeutend reaktionsträger als der sämtlicher anderen Tieftemperaturkokse, was damit zusammenhängt, daß Kohle G auch bei tiefen Temperaturen ein ausgezeichnetes Schmelzvermögen besitzt, das eine starke Graphitierung begünstigt. Die bei 700° bestimmte Reaktionsfähigkeit fällt bei allen Kohlen von den tiefen zu den hohen Verkokungstemperaturen stark ab, d. h. der Unterschied der Reaktionsfähigkeit kommt bei tiefer Reaktionstemperatur besonders deutlich zum Ausdruck. Bei der höheren Reaktionstemperatur von 800° haben die Tief- und Mitteltemperaturkokse, mit Ausnahme der Kohlen H und B, etwa gleiche Werte, und erst beim Hochtemperaturkoks sinkt auch hier die Reaktionsfähigkeit zum Teil sehr stark ab. Das bei der Sattelflözkohle H oberhalb einer Verkokungstemperatur von etwa 800° stark verbesserte Schmelzvermögen, auf das vorher schon hingewiesen wurde, zeigt sich auch hier durch den starken Abfall der Reaktionsfähigkeit beim 800°-Koks. Die beim Mitteltemperaturkoks schon eintretende Erniedrigung der Reaktionsfähgkeit bei der Besatzkohlenmischung B ist als Folge der Zumischung der einen reaktionsträgen Koks ergebenden Kohle G anzusehen.

Die sprunghafte Besserung des Schmelzvermögens oberhalb einer gewissen Verkokungstemperatur (= Verkokungsgeschwindigkeit), die ihren Ausdruck findet in einem sehr starken Absinken der Reaktionsfähigkeit infolge stärkerer Graphiterung, zeigt sich außer bei Kohle H auch bei den anderen beiden Sattelflözkohlen F und L, allerdings mit dem Unterschied, daß die kritische Temperatur bei diesen Kohlen erst oberhalb 800° zu liegen scheint, denn auch die Sturz- und Abriebfestigkeit des Koks, sogar der reinen Flammkohle L, bessern sich, wie die Schaubilder 6 und 7 zeigten, bei hohen Verkokungstemperaturen deutlich, wenn auch Koks L in keiner Weise den Anforderungen genügt. Diese sprunghafte Besserung des Schmelzvermögens oberhalb einer gewissen Verkokungsgeschwindigkeit scheint demnach eine kennzeichnende Eigenschaft der oberschlesischen Sattelflözkohlen zu sein.

Die bei einer Temperatur von 900 und 600° bestimmten Reaktionsfähigkeiten zeigen wenig ausgeprägte Unterschiede, weil einerseits die Reaktionsgeschwindigkeit des CO^2 mit dem Kohlenstoff bei 900° bei allen Koksen schon sehr hoch, andererseits bei 600° noch sehr gering ist. Die deutlichsten Unterschiede in der Reaktionsfähigkeit werden demnach bei Reaktionstemperaturen von 800 und 700° erhalten.

Mit einer Reaktionsfähigkeit von etwa 80 % bei 900° müssen auch die Hochtemperaturkokse der Sattelflözkohlen O—L sowie der Kohle A der Andreasflözgruppe als sehr leicht reagierend angesprochen werden, was z. B. im Hausbrand und Gaserzeugern unzweifelhaft wirtschaftliche Vorteile bringt.

Zu erwähnen bleibt noch, daß sämtliche Kokse bei einer Reaktionstemperatur von 1000° die gleiche Reaktionsfähigkeit zeigen. Die der Natur der Kokssubstanz entsprechende „spezifische Reaktionsfähigkeit" ist demnach nur bis zu Temperaturen von etwa 1000° temperaturabhängig. Die tägliche Erfahrung lehrt aber, daß über 1000° hinaus im Reaktionsablauf technischer Feuerungen eine Temperaturabhängigkeit besteht. Deshalb hat Speckhardt [12]) als Maß der Kokseignung für den praktischen Betrieb den Begriff der „praktischen Reaktionsfähigkeit" geprägt, worunter diejenige Menge von Kohlenstoff verstanden wird, die in der Raumeinheit geschütteten Kokses bei bestimmter Temperatur, Luftmenge und Zeit umgesetzt wird. Bei seinen Untersuchungen zeigte sich deutlich der Einfluß der Stückgröße auf die praktische Reaktionsfähigkeit des Kokses. Weiterhin zeigte sich, daß die praktische Reaktionsfähigkeit über 1000° hinaus mit der Temperatur auch weiter steigt.

e) Zündpunkte.

Die mit Luft nach dem Verfahren von Bunte bestimmten Zündpunkte (Zahlentafel 4) verhalten sich umgekehrt wie die Reaktionsfähigkeiten, ohne daß man aber vom Wert des einen auf den Wert des anderen schließen kann [22]). Man kann aber aus dem Verlauf der Zündpunkte auf den Verlauf der Reaktionsfähigkeit und umgekehrt schließen. Mit fallender Verkokungstemperatur fällt auch der Zündpunkt und steigt die Reaktionsfähigkeit. Das Ueberstehen bewirkt bei fast allen Temperaturen eine deutliche Erhöhung des Zündpunktes. Als Wirkung der Flotation könnte man feststellen, daß nur beim Koks G der Zündpunkt beim flotierten Koks um ein geringes herabgesetzt ist. Auch hier handelt es sich, wie bei der Reaktionsfähigkeit, nicht um den Einfluß der Aschenmenge, sondern eher der Aschenzusammensetzung, da beim flotierten Koks H keine Einflüsse sichtbar sind.

Entsprechend der guten Reaktionsfähigkeit der Kokse A—L aus den Sattelflözkohlen liegen auch die Zündpunkte mit Luft verhältnismäßig niedrig bei 425—450° beim Tieftemperaturkoks, bis 530° beim Hochtemperaturkoks. Beim Koks aus Kohle G mit seiner geringen Reaktionsfähigkeit liegen die Zündpunkte wieder höher als bei den anderen Koksen bei 485—550°, sie liegen aber immer noch niedriger als z. B. bei westfälischem Koks, der für Hochtemperaturkoks Zündpunkte von 600—640° zeigt.

f) Flüchtige Bestandteile.

Die in den Modellkoksen bei 800° im Koks bestimmten flüchtigen Bestandteile sind, um die wechselnden Aschengehalte auszuschalten, auf aschefreie Substanz umgerechnet (Zahlentafel 4). Daß der Gehalt an flüchtigen Bestandteilen mit fallender Verkokungstemperatur steigt, ist bekannt. Während er aber bei Koks H und L nach den hohen Temperaturen hin dauernd abnimmt, ist der unflotierte Koks G bei 800° C schon so weit entgast, daß bei höheren Verkokungstemperaturen nur noch ganz geringe Gasmengen (0,4 %) entweichen. Daher macht auch das Ueberstehen beim unflotierten Koks G von 800° aufwärts für den Gehalt an flüchtigen Bestandteilen nichts aus, im Gegensatz zu den anderen Versuchskohlen, bei denen durch das Ueberstehen stets eine stärkere Entgasung eintrat. Allerdings kam auch kein anderer Koks im Gasgehalt so tief wie der unflotierte Koks G.

Einen bedeutenden Einfluß hat die Flotation auf den Gasgehalt der Kokse. Dabei ist interessant, daß sich die Aschenverminderung des Koks G gerade umgekehrt auswirkt wie beim Koks H. Während nach der Flotation der Gehalt an flüchtigen Bestandteilen beim Koks G allgemein höher liegt als vor der Flotation, liegt er beim Koks H tiefer.

Dieses unterschiedliche Verhalten im Entgasungsverlauf nach der Flotation drängt die Vermutung auf, daß durch die Flotation Unterschiede im Schmelzverhalten der Kohlen eingetreten sind. Während die Kohle G nach dem Flotieren zähflüssiger geworden zu sein scheint, die Gase also schwerer entweichen können, scheint der Schmelzfluß der Kohle H nach dem Flotieren dünnflüssiger zu sein als vor dem Flotieren. (Bei der Kohle G mit ihrer überwertigen Backfähigkeit wirkt ein größerer Aschegehalt als Magerungsmittel!).

Ob die Aenderung der Aschenzusammensetzung dabei eine Rolle spielt, ist nicht zu übersehen.

Auch bei den Hauptversuchen im Schwelofen nach Wölbling enthielt der Koks G weniger flüchtige Bestandteile als alle anderen Kokse, wie Zahlentafel 3 zeigt. 6 % flüchtige Anteile beim Tieftemperaturkoks und 3,3 % beim Hochtemperaturkoks würden auch den Ergebnissen des Großbetriebes entsprechen, wogegen der Gehalt an flüchtigen Anteilen bei den anderen Koksen mit 9,4 % bis 17,8 % beim Tieftemperaturkoks und 4,2 bis 6,7 % beim Hochtemperaturkoks verhältnismäßig hoch liegt.

Die Unterschiede im Gehalt an flüchtigen Bestandteilen zwischen dem Koks aus Kohle G und dem Koks aus den Sattelflözkohlen erklären sich einmal durch die verschiedenen Sauerstoffgehalte der Kokse, da die Kokse aus Kohle G gegenüber den anderen Koksen die niedrigsten Gehalte an Sauerstoff aufweisen. Daneben wird das Schmelzverhalten der Kohlen für den Gehalt an flüchtigen Bestandteilen mitbestimmend sein. Die Sattelflözkohlen haben eine starke Nachentgasung (siehe Abbildung 1a), sodaß die Austreibung der letzten Bitumen- und Gasmengen außer vom Schmelzverhalten des Bitumens auch von den physikalischen Eigenschaften des Koks, wie von seiner Dichte, der Ausbildung des Porengefüges sowie der Rissigkeit des Koksstückes abhängen wird.

Dieser Hinweis erklärt auch den ziemlich stark schwankenden Gehalt an flüchtigen Bestandteilen der Kokse aus den Sattelflözkohlen untereinander, bei denen wegen des weitgehend ähnlichen Verhaltens des Bitumens eigentlich eine größere Uebereinstimmung der flüchtigen Anteile im Koks zu erwarten gewesen wäre.

Die Porigkeit (Zahlentafel 3) zeigt nur bei Kohle G einen stetigen Abfall vom Tief- zum Hochtemperaturkoks, wie schon beim Betrachten der Versuchskokse leicht festgestellt werden konnte, daß der Koks aus Kohle G bei steigender Verkokungstemperatur immer dichter wurde. Sein Porenraum liegt bei 60 bis 38 %. Bei den anderen Koksen ist eine eindeutige Abhängigkeit des Porenraumes von der Verkokungstemperatur nicht festzustellen; er schwankt zwischen 44 und 55 %, nur beim 950°-Koks der Kohle F erreicht er 60,17 %.

g) Flüchtige Bestandteile und Porenraum.

Bei dem unterschiedlichen Gehalt der Kokse an flüchtigen Bestandteilen lag es nahe, den Porenraum zu ihnen in Beziehung zu setzen. In der folgenden Zusammenstellung sind die Kokse bei den drei verschiedenen Verkokungstemperaturen nach ihrem Porenraum geordnet und mit ihrem Gehalt an flüchtigen Anteilen verglichen.

Aus Zahlentafel 6 ist zu ersehen, daß bei der Tieftemperaturverkokung von 600° eine Abhängigkeit des Gehaltes an flüchtigen Bestandteilen im Koks vom Porenraum derart besteht, daß mit fallendem Porenraum der Gehalt an flüchtigen Bestandteilen steigt, während, im Gegensatz dazu, der Gehalt an flüchtigen Bestandteilen bei der 950°-Verkokung mit fallendem Porenraum auch fällt. Jedoch ist bei der 950°-Verkokung die

Zahlentafel 6. Porenraum und flüchtige Bestandteile.

600°-Koks			800° Koks			950° Koks		
	Porenraum	Fl. Bestandt.		Porenraum	Fl. Bestandt.		Porenraum	Fl. Bestandt.
	%	%		%	%		%	%
G:	59,67	6,3	H:	52,19	4,8	F:	60,17	6,7
L:	52,58	7,6	O:	49,70	6,0	B:	55,60	5,9
H:	52,22	9,4	L:	49,15	(10,7)	A:	54,07	(4,7)
B:	51,98	9,2	B:	48,22	3,7	O:	51,46	5,9
A:	50,89	12,9	F:	47,98	4,9	L:	46,80	5,4
O:	50,36	12,2	G:	45,43	4,4	H:	45,70	4,2
F:	48,87	17,8	A:	44,12	4,9	G:	38,40	3,3

Abhängigkeit nicht so stark ausgeprägt wie bei der 600°-Verkokung. Bei der Mitteltemperaturverkokung von 800° läßt sich eine Abhängigkeit nicht feststellen, dagegen ist es auffallend, daß die Werte für den Porenraum im allgemeinen tiefer und auch näher beieinander liegen als bei den anderen beiden Verkokungstemperaturen. Auch der Gehalt an flüchtigen Bestandteilen schwankt bei der 800°-Verkokung, von den Kohlen O und L abgesehen, nur zwischen 3,7 und 4,9 %. In der Reihenfolge der einzelnen Kohlen in der Zusammenstellung läst sich keine Gesetzmäßigkeit feststellen, doch ist es interessant, daß die beiden Kohlen G und F, die bei der 600°-Verkokung die erste bezw. letzte Stelle einnehmen, bei der 950°-Verkokung ihre Plätze getauscht haben.

5. Schwelung im Betrieb und Laboratorium.

Im Anschluß an die Laboratoriumsversuche soll noch ein Ergebnis von Versuchen folgen, die mit der Besatzkohlenmischung B im Großbetriebe angestellt wurden. Geplant war die Herstellung eines Mitteltemperaturkokses in normalen Koksöfen. Zur Erzielung einer guten Wärmeübertragung an die Kohle und damit einer hohen Verkokungsgeschwindigkeit erhielt der Koksofen eiserne Einbauten, in denen die Kohle in einer Schichtdicke von 60 mm der Verkokung unterworfen wurde. Die Temperatur des Koksofens hatte anfangs etwa 750° C betragen, wurde aber im Verlaufe der Versuche auf etwa 850° C erhöht, um die Verkokungsgeschwindigkeit zu vergrößern und damit die Garungszeit zu verkürzen. Der Koks wurde sofort nach beendeter Garung aus dem Ofen entfernt; er hatte dann eine Temperatur von etwa 650° C. Nachstehend ist das Ergebnis eines Versuches, das ungefähr dem Durchschnitt der Betriebsversuche entspricht, mit den Werten des Laboratoriumsversuches bei 600° verglichen.

Die Zusammenstellung zeigt eine unerwartet gute Uebereinstimmung der Ergebnisse des Laboratoriumsversuches mit dem Versuch im technischen Maßstab. Die mittlere Verkokungsgeschwindigkeit betrug im Betriebe 12,5 mm je Std. im Laboratorium 6,9 mm je Std., wenn die Zeit bis zur völligen Entgasung, und 14,2 mm/Std., wenn die Zeit zu Grunde gelegt wird, in der die Kohlekuchen-Mitte die Temperatur von 500° C erreichte. Die beiden Laboratoriumswerte sind also Grenzwerte, zwischen denen die praktische mittlere Verkokungsgeschwindigkeit liegen würde. Entsprechend der um 60° höheren Endtemperatur im Betriebe liegen die flüchtigen Bestandteile im Koks auch um 1,3 % tiefer als beim Labor-Koks, aus demselben Grunde liegen auch die Zündpunkte bei 480 bezw. 460° um 20° auseinander, desgleichen auch die Reaktionsfähigkeit um 1 bis 3 %. Der Betriebskoks hat mit 0,802 ein höheres spez. Gewicht als der Labor-Koks,

Zahlentafel 7. Schwelung der Kohle B in Betrieb und Laboratorium.

	Schwelung der Kohle B im Betrieb	im Laboratorium
Einsetztemparatur des Ofens . . . . . °C	860	600
Endtemperatur im Koks . . . . . °C	650	590
Garungszeit . . . . . Std.	4,46	6.45
mittlere Verkokungsgeschwindigkeit mm/Std.	12,5	6,9 (14,2)
Koks:		
Wasser . . . . . %	0,8	0,0
Asche . . . . . %	10,3	10,8
Flüchtige Bestandteile (Reinkoks) . . %	7,9	9,2
Elementaranalyse: (Reinkoks)		
Kohlenstoff . . . . . %	92,80	90,50
Wasserstoff . . . . . %	2,37	2,86
Stickstoff . . . . . %	1,47	1,91
Sauerstoff . . . . . %	3,36	4,73
	100,00	100,00
Gesamt-Schwefel . . . . . %	1,0	0,91
Reaktionsfähigkeit bei 600° . . . . . %	—	4
„ 700° . . . . . %	23	26
„ 800° . . . . . %	50	51
„ 900° . . . . . %	79	82
„ 1000° . . . . . %	97	—
Zündpunkt . . . . . °C	480	460
Spezifisches Gewicht der Stücke	0,802	0,787
„ „ des Pulvers . . .	1,723	1,639
Porenraum . . . . . %	53,46	51,98
Trommelprobe: Festigkeit *) . . . . . %	78,6	65,1
Abrieb . . . . . %	10,4	16,7

*) Die Trommelprobe wurde im Betriebe mit der Micum-Trommel, im Laboratorium mit der Nedelmann-Trommel ausgeführt.

ebenso ist sein Porenraum mit 53,46 % etwas größer. Hierbei verdient noch hervorgehoben zu werden, daß der Betriebskoks sich sehr gut einordnen ließe in jene Zusammenstellung (Zahlentafel 6), in der die Abhängigkeiten der flüchtigen Anteile im Koks vom Porenraum festgestellt wurden und daß er die Ansicht bestätigt, daß bei Tieftemperaturkoksen der Gehalt an flüchtigen Bestandteilen mit steigendem Porenraum fällt.

Die Ergebnisse der Festigkeitsuntersuchung stimmen nicht so gut überein wie die anderen Werte, weil Micum-Trommel und Nedelmann-Trommel ganz verschieden wirken. Die Festigkeit von 78,6 % und 10,4 % Abrieb in der Micum-Trommel sind als sehr gute Werte zu bezeichnen.

Die Versuche im Großbetrieb wurden später aus betrieblichen Gründen unterbrochen, sie hatten aber schon gezeigt, daß aus der Besatzkohlenmischung B (Mischung aus Kohle G, O, F und L) im Großbetrieb ein durchaus brauchbarer Mitteltemperaturkoks hergestellt werden kann.

6. Ausbringen an Nebenerzeugnissen.

Allgemeines.

Der Verkokungsofen von Wölbling gesattet eine genaue Erfassung der bei der Erhitzung von Kohlen gebildeten Zersetzungserzeugnisse. Die Ergebnisse sind jedoch, wie jedes Ergebnis einer Laboratoriums-Unter-

suchung, nur Anhaltszahlen, da es unmöglich ist, die Bedingungen, unter denen die Kohle im Betriebe zersetzt wird, im Kleinversuch genau nachzuahmen. Es ist bekannt, daß die primär gebildeten Destillationsgase im Koksofen einer pyrogenen Zersetzung und Umsetzung unterliegen, deren Ausmaß abhängig ist von der Temperatur, den Kammerabmessungen und der Verweilzeit der Gase im Koksofen und nur in untergeordnetem Maße von den Kohlen selbst. Kennzeichnend für die Kohlen sind nur die Ausbeuten an reinen primären Zersetzungserzeugnissen, denn bei reiner primärer Zersetzung sind gleiche Ausbeuten und gleiche Beschaffenheit bei allen Nebenerzeugnissen, die aus einer bestimmten Kohle erhalten werden, zu erreichen, gleichgültig, ob die Verarbeitung im Laboratorium oder im Betriebe erfolgt. Sowie den primären Zersetzungserzeugnissen Gelegenheit zur Zweitzersetzung gegeben wird, treten große Unterschiede zwischen Betrieb und Laboratorium auf, weil die Bedingungen für die Zweitzersetzung noch nicht genügend erforscht und deshalb auch nicht gleich zu halten sind. Davis und Auril [25]) haben für die Hochtemperaturverkokung den Einfluß des freien Raumes oberhalb des Kokses auf die Nebenerzeugnisse untersucht und gefunden, daß die Veränderung des freien Raumes für die Koksausbeute, den S- und NH_3-Gehalt des Gases ohne Belang war. Die Gasmenge stieg dagegen bei größerem Gassammelraum an, und im Gas nahmen die „schweren Kohlenwasserstoffe" ab, während eine geringe Zunahme an CH_4 beobachtet wurde. Teer und Leichtöle veränderten sich beträchtlich. Der Gehalt an Aromaten stieg, desgleichen die Gesamtmenge an Leichtöl. Im Teer zeigte sich, infolge stärkerer Zersetzung, eine Erhöhung des Pechgehaltes. Ebenso hat Damm [26]) gezeigt, daß das Ausbringen im Betriebe weitgehend abhängig ist von dem Ausmaß der Zweitzersetzung im Koksofen, also letzten Endes von seiner technischen Durchbildung. Es sollen hier nicht die Verfahren und Patente aufgezählt werden, durch die das Nebenausbringen im Betriebe beeinflußt und das Maß der Zweitzersetzung geregelt werden kann. Gerade in letzter Zeit hat die einschlägige Literatur ausführlich darüber berichtet. Es sei hier nur ausdrücklich darauf hingewiesen, daß bei den vorliegenden Versuchen die Ausbringezahlen natürlich ebenfalls von der Ofenkonstruktion abhängig sind und deshalb in jedem Falle nur Anhaltszahlen darstellen.

Gewinnung der Nebenerzeugnisse.

Das Nebenausbringen wurde bei den Versuchen folgendermaßen erfaßt: Vor jedem Versuch wurden sämtliche Teile der Verkokungsapparatur genau gewogen. Darauf wurde das Einsatzrohr mit einer bestimmten Menge vorbereiteter Besatzkohle beschickt und der Versuch durchgeführt. Nach Beendigung des Versuches wurde der Koks bis zur völligen Auskühlung im Schwelrohr belassen und am nächsten Tage als Trockenkoks unmittelbar zurückgewogen. Durch das Zurückwiegen der Vorlagen wurde zunächst die Summe von Teer und Wasser bestimmt. Der Teer wurde erst im Scheidetrichter, darauf durch Destillation sorgfältig entwässert, als Trockenteer gewogen und von dem Gewicht Teer + Wasser abgezogen. Dadurch war die gesamte, bei der Verkokung angefallene Wassermenge bestimmt. Wird von dieser Gesamt-Wassermenge dann die durch die Besatzkohle eingebrachte „grobe Feuchtigkeit" abgezogen, so ist der Rest das bei der Verkokung aus Sauerstoff und Wasserstoff der Kohlen gebildete „Zersetzungswasser". Das gesamte Wasser wurde mit dem Inhalt der Schwefelsäure-Vorlage vereinigt und darin der NH_3-Gehalt bestimmt und auf die Kohlenmenge umgerechnet. Die Benzin- und Benzol-Kohlenwasserstoffe wurden durch aktive Kohle aufgefangen, nach dem Versuch mit überhitztem Wasserdampf ausgetrieben und gewogen. Da ein geeigneter großer Gasbehälter nicht zur Verfügung stand, konnte die gesamte Gas-

menge nicht aufgefangen werden. An einer Versuchsgasuhr der Firma Pintsch wurde einmal die Gesamtgasmenge, zweitens alle 15 Minuten die Stärke der Gasentwicklung (durch einfaches Abstoppen) abgelesen. Nach Entnahme von Gasproben wurde das Gas verbrannt.

Stoffaufrechnung.

Die Stoffaufrechnungen sind in Zahlentafel 8 zusammengestellt.

Koks.

Das Koksausbringen nimmt von den niedrigen zu den hohen Verkokungstemperaturen hin ab und liegt bei allen Kohlen fast gleich hoch. Nur Kohle G hat bei allen drei Verkokungstemperaturen ein um etwa 5 % höheres Koksausbringen.

Teer.

Das Teerausbringen zeigt kennzeichnende Unterschiede im Verhalten der einzelnen Kohlen. Kohle G hat mit dem niedrigsten Gehalt an flüchtigen Bestandteilen (29,5 %) auch das niedrigste Teerausbringen, das von 5,64 % bei der 600°-Verkokung auf 6,40 % bei der 950°-Verkokung ansteigt. Nach den anfangs angestellten Betrachtungen wäre zu erwarten gewesen, daß bei höherer Verkokungstemperatur das Teerausbringen infolge stärkerer Zersetzung zurückgeht, wie es beispielsweise bei den Kohlen H, F, L und B auch der Fall ist. Bei den Kohlen G und A ist demgegenüber kein Rückgang, sondern ein Ansteigen des Teerausbringens zu den hohen Verkokungstemperaturen hin festzustellen. Bei der Tieftemperatur-Verkokung der Kohle G war aufgefallen, daß aus dem Kohlenbesatz während des Versuches zähflüssiges Bitumen hervorquoll, das sich in dem freien Raum vor der Kohle festsetzte, dort verkokte und einen schaumigen, pechkoksähnlichen Rückstand mit großen, dünnwandigen und glänzenden Zellen hinterließ, dessen Menge etwa 1 %, auf Trockenkohle bezogen, ausmachte. Bei hoher Verkokungstemperatur mit einem rascheren Temperaturanstieg in der Erweichungszone wird das an sich zähflüssige Bitumen dünnflüssiger, kann besser verdampfen und trägt dadurch zur Erhöhung des Teerausbringens bei. Das Bitumen der Sattelflözkohlen H, F und L ist im Gegensatz dazu leichter flüchtig, es neigt dafür aber auch bei höheren Temperaturen viel mehr zum Zerfall. Das Bitumen der Kohle O nimmt zwischen diesen beiden Gruppen eine Mittelstellung ein, indem es weder zu schwer flüchtig noch zu leicht zersetzbar ist, wodurch ein bei allen Verkokungstemperaturen fast gleichmäßiges Teerausbringen gegeben ist.

Im Verlaufe der Arbeit wurde des öfteren darauf hingewiesen, daß Kohle H bei etwa 800° Verkokungstemperatur eine Unstetigkeit im Schmelzverhalten des Bitumens haben muß, was durch einen Tiefstwert im Teerausbringen wiederum bestätigt wird. Dieser Tiefstwert ist keine Fehlbestimmung, weil ein doppelt ausgeführter Versuch mit guter Uebereinstimmung die Ergebnisse des ersten Versuches bestätigte. Worauf diese Unstetigkeit letzten Endes zurückzuführen ist, bedarf noch der Klärung; es scheint jedenfalls, daß die Verkokungsgeschwindigkeit nicht ausschließlich dafür verantwortlich zu machen ist, sondern daß der innermolekulare Aufbau dieser Kohle ebenfalls eine Rolle spielt.

Kohlenwasserstoffe.

Die Menge der aus dem Gase mittels aktiver Kohle ausgewaschenen Benzin-Benzol-Kohlenwassertoffe steigt deutlich zu den höheren Verkokungstemperaturen hin an; dabei zeigen sämtliche Kohlen praktisch gleiche Gehalte, die zwischen 0,5 und 0,76 % schwanken.

Ammoniak.

Auch das Ammoniak-Ausbringen ist bei allen Kohlen praktisch gleich. Während es aber bei Kohle G von der 600°-Verkokung zur

Zahlentafel 8. Stoffaufrechnung (auf Trockenkohle bezogen).

Kohle / Verkokungs-Temperatur		G			A			O			H		
		600°	800°	950°	600°	800°	950°	600°	800°	950°	600°	800°	950°
Koks trocken	Gew. %	83,33	78,64	75,98	79,06	72,80	70,68	77,65	73,15	70,61	77,29	70,83	70,49
Teer wasserfrei	„	5,64	6,38	6,40	7,95	9,85	9,57	8,50	8,50	8,28	8,35	6,58	7,34
Benzin-Benzol	„	0,60	0,59	0,66	0,57	0,59	0,67	0,52	0,54	0,76	0,57	0,51	0,76
Ammoniak	„	0,12	0,26	0,35	0,15	0,40	0,40	0,12	0,36	0,35	0,15	0,35	0,32
Gas	„	5,80	11,09	12,81	8,29	11,25	12,86	7,53	12,14	13,52	9,19	13,36	14,43
Zersetzungswasser	„	4,51	3,04	3,80	3,98	5,11	5,82	5,68	5,31	6,48	4,45	8,37	6,66
		100,—	100,—	100,—	100,—	100,—	100,—	100,—	100,—	100,—	100,—	100,—	100,—

Kohle / Verkokungs-Temperatur		F			L			B		
		600°	800°	950°	600°	800°	950°	600°	800°	950°
Koks trocken	Gew. %	77,17	74,23	71,74	77,28	71,91	70,78	77,36	72,29	72,34
Teer wasserfrei	„	8,23	7,63	6,90	7,67	7,05	6,67	7,70	7,28	6,80
Benzin-Benzol	„	0,50	0,52	0,73	0,53	0,60	0,66	0,53	0,54	0,76
Ammoniak	„	0,13	0,33	0,30	0,13	0,35	0,33	0,13	0,32	0,33
Gas	„	5,79	10,75	13,42	7,41	12,69	14,70	8,15	15,06	13,69
Zersetzungswasser	„	8,18	6,54	6,91	6,98	7,40	6,86	6,13	4,51	6,08
		100,—	100,—	100,—	100,—	100,—	100,—	100,—	100,—	100,—

950°-Verkokung stetig ansteigt, macht sich bei den Kohlen H, F und L bei der hohen Verkokungstemperatur bereits ein kleiner Rückgang bemerkbar. Der bei den 800- und 950°-Verkokungen erreichte Wert von 0,30 bis 0,35 % NH_3 entspricht fast genau dem im Großbetriebe erreichten Ausbringen.

Gas.

Das Gasausbringen steigt mit steigender Verkokungstemperatur. Während bei der 600°-Verkokung die einzelnen Kohlen noch größere Unterschiede zeigen, sind diese Unterschiede bei höherer Verkokungstemperatur im allgemeinen nicht mehr so groß. Sogar Kohle G mit ihrem geringen Gehalt an flüchtigen Bestandteilen steht den gasreicheren Kohlen nicht nach. Es kommt dies daher, daß die Sattelflözkohlen einen bedeutend höheren Gehalt an Sauerstoff besitzen, der bei der Bestimmung der flüchtigen Bestandteile miterfaßt wird, der sich aber an der Gasbildung nicht oder nur wenig beteiligt.

Zersetzungswasser.

Beim Zersetzungswasser lassen sich deutlich zwei Gruppen von Kohlen unterscheiden: Erstens die Gruppe, die bei der 800°-Verkokung einen Tiefstwert an Zersetzungswasser besitzt mit den Kohlen G, O, F und B, zweitens die Kohlen H und L mit einem Höchstwert an Zersetzungswasser bei 800°. Daß bei der ersten Gruppe der Tiefstwert an Zersetzungswasser der Kohlen G, O und F nicht auf Zufälligkeiten beruht, beweist die Verkokung der Besatzkohle B, die zu 85 % aus diesen Kohlen besteht, und bei der der Tiefstwert ebenfalls einwandfrei in Erscheinung tritt. Die Menge des Zersetzungswassers der einzelnen Kohlen entspricht bei der 950°-Verkokung ganz gut den Sauerstoffgehalten der Kohlen, während bei den tieferen Verkokungstemperaturen starke Unregelmäßigkeiten festzustellen sind.

a) Ausbringen nach Fischer.

Zum Vergleich mit diesen Stoffaufrechnungen seien noch die Werte angeführt, die bei der Schwelung in der Aluminiumretorte nach Fischer erhalten werden. Die Kohlen wurden mit einem Wassergehalt von 7,5 % bei einer Stampfdichte von etwa 900 kg/m³ eingesetzt. Die Retorte wurde in einer Stunde auf 550° gebracht und weitere zwei Stunden auf dieser Temperatur gehalten. Die Ergebnisse zeigt die nachstehende Zahlentafel.

Zahlentafel 9. Schwelung in der Fischer-Retorte. (Ausbringen bezogen auf Trockenkohle).

	G	A	O	H	F	L	B
Koks (trocken) . . . %	77,17	74,63	77,00	77,38	78,67	76,67	77,93
Teer (wasserfrei) . . %	13,12	11,76	10,80	9,29	9,74	9,06	8,31
Gas (Differenz) . . . %	6,51	10,08	9,00	8,95	8,03	9,59	8,96
Zersetzungswasser . . %	3,20	3,53	3,20	4,38	3,56	4,71	4,80
%	100,—	100,—	100,—	100,—	100,—	100,—	100,—

Das Koksausbringen der Kohlen O bis B entspricht etwa den Werten, wie sie bei der 600°-Verkokung im Versuchsofen nach Wölbling erhalten wurden, nur bei den Kohlen A und G liegt das Koksausbringen bei der Fischer-Schwelung um 4 bis 6 % tiefer. Das Teerausbringen ist in der Fischer-Retorte bei sämtlichen Kohlen wesentlich höher, besonders auffallend bei den Kohlen G, A und O mit 10 bis 13 % Teer. Hierin zeigen sich die besonders günstigen Entgasungsbedingungen bei der Schwelung in der

Fischer-Retorte, aus der die Nebenerzeugnisse schnell und ohne Zersetzung abgeführt werden können, wie es z. B. im Betriebe nicht möglich ist und auch kaum möglich sein wird. Das Ausbringen an Zersetzungswasser ist geringer als bei den Versuchen im Schwelrohr und bei den einzelnen Kohlen wenig unterschiedlich. Das Gasausbringen ist gegenüber dem Hauptversuch bei 600° etwas erhöht, weil das Gas als Differenzbestimmung sämtliche Verluste enthält.

Im wesentlichen ergibt also die Schwelung in der Fischer-Retorte aufgrund ihrer sehr günstigen Verkokungsbedingungen eine stark erhöhte Teerausbeute, die im Betriebe nicht zu erreichen sein wird.

b) Abhängigkeit des Ausbringens von Verkokungsdauer und Besatzdichte.

In welcher Weise das Ausbringen bei der Schwelung von der Verkokungsgeschwindigkeit und der Stampfdichte beeinflußt wird, zeigt ein weiterer Versuch mit Kohle H. Diese Kohle wurde mit einer Stampfdichte von 750 kg/m³ und 950 kg/m³ einmal schnell, das zweite Mal langsam in der Fischer-Retorte verschwelt. Bei der schnellen Erhitzung war die Verkokung in 3 Stunden, bei der langsamen Erhitzung in 9½ Stunden beendet. Der Wassergehalt der Kohle betrug 6,1 %.

Zahlentafel 10.

Einfluß von Stampfdichte und Verkokungsgeschwindigkeit auf das Nebenausbringen.

(Ausbringen bezogen auf Trockenkohle).

	Kohle H_3 750 kg/m		Kohle H_3 950 kg/m	
	schnell	langsam	schnell	langsam
Koks . . . . . %	76,30	77,50	77,38	78,81
Teer . . . . . %	10,12	8,71	9,29	7,96
Gas . . . . . %	9,20	8,36	8,95	8,48
Wasser . . . . %	4,38	5,43	4,38	4,75
%	100,00	100,00	100,00	100,00

Aus diesen Versuchen ergibt sich, daß bei schneller Verkokung das Ausbringen an Teer und Gas beträchtlich höher liegt als bei langsamer Verkokung, während Koks und Zersetzungswasser bei schneller Verkokung in geringeren Mengen anfallen. Die Besatzdichte der Kohle wirkt sich dahin aus, daß bei geringer Dichte das Teer- und Gasausbringen ebenfalls höher, das Koksausbringen niedriger liegt als bei hoher Dichte. Eine hohe Verkokungsgeschwindigkeit in Verbindung mit einer geringen Besatzdichte der Kohle ist demnach zur Erreichung einer hohen Ausbeute an flüssigen Nebenerzeugnissen anzustreben. Für die backenden oberschlesischen Kohlen ist zur Herstellung eines festen Kokses ohnehin eine hohe Verkokungsgeschwindigkeit notwendig, sie wirkt somit auf Koksgüte und Teerausbringen gleichermaßen günstig ein. Dagegen muß die Forderung einer geringen Besatzdichte mit Rücksicht auf die Koksgüte fallen gelassen werden, weil aus den oberschlesischen Kohlen nur bei hoher Besatzdichte ein dichter und fester Koks erzeugt werden kann.

c) Beschaffenheit der Nebenerzeugnisse.

Der bei den Versuchen erhaltene Teer sowie das Gas wurden weiter untersucht und ihre wichtigsten Kennzahlen festgestellt. Die Untersuchungsergebnisse sind in Zahlentafel 11 zusammengestellt.

Zahlentafel 11. Untersuchung der Nebenerzeugnisse. Teeraufspaltung: berechnet auf Pech m. EP. 70° C. u. verlustfrei.

	G			A			O			H			F			L			B		
	600°	800°	950°	600°	800°	950°	600°	800°	950°	600°	800°	950°	600°	800°	950°	600°	800°	950°	600°	800°	950°
Spezifisches Gewicht bei 25° C	1,002	1 039	1,064	0,975	1,017	1,040	1,007	1,029	1,066	1,013	1,045	1,070	1,015	1,035	1,063	1,012	1,033	1,068	1,014	1,070	1,068
Teeraufspaltung: (300 g)																					
Leichtöl bis 170° C %	6,76	4,87	4,37	4,92	4,70	3,58	5,31	4.17	4,43	4,33	4,96	4,72	3,70	4,20	6,14	3,66	4,76	4,18	5.15	4,84	3,99
Mittelöl von 170 „ 230 „ %	16,25	13,57	11 56	20,62	15,84	14,55	18,22	18,00	15,34	19,68	18,13	15,78	19,31	18,28	17,79	20,13	19,60	18,25	17,77	18,33	15,81
Schweröl „ 230 „ 270 „ %	10,11	9,13	9,91	14 73	11,67	10,61	12,64	11,49	10,46	13,13	11,62	10,66	12,36	12,48	11,58	14,14	12,53	11,30	13,60	8.41	11,16
Anthrazenöl I „ 270 „ 300 „ %	8,10	7,74	6,39	9,59	7,04	7,85	8,56	7,87	6,95	8,59	7,59	7,76	8,86	8.23	6 74	9,08	8,02	7.10	7.13	6,92	6,68
„ II „ 300 „ Pech %	32,41	22,15	18,34	39,38	29,19	23,88	34,58	24,34	15,56	32,75	17 02	16,08	35,89	24,—	14.61	33,66	25.46	16,64	28,20	13,52	17,06
Pechrückstand (Erw. 70°) %	26 37	42,54	49,43	10,76	31,56	39,53	20,69	34,13	47 26	21,52	40,68	45,—	19,88	32,81	43,14	19,33	29,63	42,53	28,16	47.98	45,30
Saure Öle: im Leichtöl V.-%	6,7	7,0	6,0	13,5	8,0	10,0	11,5	11,0	10,0	13,5	10,0	13,0	13,0	11,0	11,0	13,0	12,0	13,0	13,0	12,0	10.0
„ Mittelöl V.-%	20,0	20,0	17,2	32.0	34,0	29,0	36,0	34.0	33,0	38,0	36,0	36,0	40,0	36,0	36,0	40,8	38,0	42.0	34,5	39,5	33.0
„ Schweröl V.-%	28,5	32 2	30,0	43.6	45,0	40,3	47,5	46,1	44 4	51,8	49,8	46,8	52,0	48,4	46,0	53,5	51,0	49,0	45.7	41.0	41,5
„ Anthrazenöl I V.-%	23,8	25,8	25,0	36,6	40,2	34,8	41,0	39,7	38,1	45,2	44,0	40,4	45,3	42,5	40,4	47,0	44,0	43.0	38,0	37.0	34,8
„ „ II V.-%	23,3	24,0	22,0	30,0	30,0	30,0	34,5	35,8	35,0	43,3	39,0	38,8	37,0	40,0	38,0	40,0	42,0	41,0	33,0	32,5	33,0
Rohbasen: im Leichtöl V.-%	1,3	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,8	1,5	1,2	1,0	1,5	2,0	1,5	1,5	2,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,3	1.0
„ Mittelöl V.-%	2,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,0	1,5	1,5	1,0	1,5	1,5	1,0	1,5	1,4	1,1	1,4	1,4	1,7	1,7	1,2
„ Schweröl V.-%	2,3	1,8	2,1	1,5	1,7	1,5	2,0	1,7	1,9	1,5	2,0	1,8	1,9	1,6	1,8	1,4	1,6	1,9	2,0	2.0	2,0
„ Anthrazenöl I V.-%	2,4	2,7	2,5	2,0	2,5	2,6	2,8	2,5	2,5	2,0	2,7	2,6	2,3	2,5	2,5	1,9	2,5	2,5	2,8	3,5	2,5
„ „ II V.-%	2,7	3,0	2,9	2,0	3,0	3,5	2,2	2,7	3,2	2,8	2,8	3,0	3,0	2,5	3,1	2,0	2,5	2,6	2,5	2,7	3 0
Kennzahlen der Gaskohlenwasserstoffe																					
Spezifisches Gewicht bei 15° C	0,718	0,738	0,765	0,724	0.746	0,765	0,713	0,746	0,768	0,727	0,765	0,775	0,707	0,756	0,774	0 730	0,754	0,779	0,713	0.789	0,775
Siedeverlauf: Beginn ° C	39,5	45	49	48	57	59	42	53	48,5	44	60	48	38	65	45	45	51	53	45	62	49
5% ° C	50	54	59	57	69	70	49	65	60	52	67	61	45	55	57	52,5	60	61	50	73,5	61
bei 55° C %	12,8	65	—	—	—	—	17	—	—	10,5	—	—	22	—	—	10	—	—	16	—	—
„ 60 „ %	19,5	14	6	10,5	—	—	30	—	—	23	—	—	31	—	9	17,5	—	—	26	—	—
„ 70 „ %	33,0	31,5	21	31,0	7	—	47	19	22	40	12	20	47	16,5	24	35	21	17,5	44	—	18
„ 75 „ %	39.0	39	29	40	15	14	54	30	30	47,5	22,5	27	54	26,5	31	41	29	26	51	7,5	26
„ 80 „ %	45,0	46,5	37	48	26	25	60	42	38	54	33	35	60	34,5	38	47	36 5	35	57	20	34
„ 85 „ %	50 0	54	45	55	37,5	36	65	51	46	60	43,5	42	65	43,5	45	52,5	43,5	44	63	33,5	43
„ 90 „ %	55,5	60	52,5	62,5	48,5	47.5	70	58,5	53	66	52,5	50	70	51,5	52	59	50	52,5	68	43	51
„ 95 „ %	60 5	66	60	68	57,5	57,5	75,5	66	60	72	63	58	76	59,5	59	65	56	61	72	53	59
„ 100 „ %	65,0	72	67,5	74	66	65	80	72	67	77,5	68,5	65	81	66	66	70	62,5	69	77	62,5	66
„ 105 „ %	70,0	76,5	74	79,5	72,5	72,5	84	79	72	82,5	74	71	84	72	72	75	68	75	80	70	72
„ 110 „ %	73,5	81	79	84	77,5	78	87,5	83	77	85,5	78	76	86	78	76	80	73	80	85	75,5	78
„ 115 „ %	77,0	84	84	87,5	82,5	82,5	90	87	81	88,5	84	84	88	82 5	80	84	77,5	84	88	80	82
„ 120 „ %	80,5	88,5	87,5	90.5	87,5	86,5	92	90	84	92,5	85,5	85	90	85,5	83	87,5	81	87.5	90	84,5	85
„ 130 „ %	86,5	91,5	92,5	94	92,5	92		95	89		90	90	94	90	88	91	89	92,5	93	90	91
„ 140 „ %	90,5	93,5							92		93	94		94	92	94	94		94,7	93,5	94,5
„ 150 „ %		95							95		95				94						
„ 160 „ %																					
„ 170 „ %																					
„ 180 „ %																					
90 bei ° C	139	125	125	120	125	126	115	120	133	117	130	130	120	130	135,5	128	132	125	120	130	128
95 „ ° C	147	150	136	134	135	139	130,5	130	150	131	150	144	137	143	155	144	144	139	144	146,5	143

Teer.

Das spez. Gewicht der Teere steigt mit steigender Verkokungstemperatur; dabei zeigen die einzelnen Kohlen nur geringe Unterschiede in den Werten. Nur Kohle A hat bei allen Verkokungstemperaturen den leichtesten Teer gleichzeitig mit den geringsten Pechgehalten. Der Gehalt der Teere an den einzelnen Oelfraktionen fällt mit zunehmender Verkokungstemperatur, während der Pechgehalt steigt. Bemerkenswert ist bei sämtlichen Teeren der hohe Gehalt an Leichtöl (3,5–6,8 %) und an Mittelöl (11,5–20 %), sogar bei der 950°-Verkokung, eine Beweis dafür, daß die Zweitzersetzung bei der Verkokung im Schwelrohr mit etwa 80 cm beheizter Rohrlänge noch mäßig ist. Weiterhin ist die Feststellung interessant, daß der Gehalt der Teere an Mittelöl und Schweröl von den geologisch alten Kohlen G und A zu den jungen Gasflammkohlen H und L stetig ansteigt, wie folgende Zusammenstellung zeigt:

Zahlentafel 12. Abhängigkeit des Ausbringens an Mittel- und Schweröl vom geologischen Alter der Kohlen.

	Verk.-Temp.	G	A	O	H	F	L
Mittelöl	600°	16,25	(20,62)	18,22	19,68	19,31	20,13
	800°	13,57	15,84	18,00	18,13	18,28	19,60
	950°	11,56	14,55	15,34	15,78	17,79	18,25
Schweröl	600°	10,11	(14,73)	12,64	13,13	(12,36)	14,14
	800°	9,13	11,67	11,49	11,62	12,48	12,53
	950°	9,91	10,61	10,46	10,66	11,58	11,30

Kohle A fügt sich, besonders bei Schweröl, nicht ganz in die Zusammenstellung, indem sie etwas zu hohe Werte zeigt, doch ist in der Reihenfolge der anderen Kohlen tatsächlich eine deutliche Einordnung nach dem geologischen Alter sichtbar. Bei den anderen Oelfraktionen (Leichtöl und Anthrazenölen) ist diese Reihenfolge öfter unterbrochen, dagegen tritt sie im Pechgehalt wieder etwas deutlicher in der Weise hervor, daß der Pechgehalt im Gegensatz zu den Oelen, zu den jungen Kohlen hin abnimmt (Mit Ausnahme der Kohle A).

Zahlentafel 13.

Abhängigkeit des Pechausbringens vom geologischen Alter der Kohlen.

	Verk.-Temp.	G	A	O	H	F	L
Pech	600°	26,37	(10,76)	20,69	21,52	19,88	19,33
	800°	42,54	(31,56)	34,13	(40,68)	32,81	29,63
	950°	49,43	(39,53)	47,26	45,00	43,14	42,53

(Von Kohle B als einer Mischung von 4 verschiedenen Kohlen war eine Einordnung nicht zu erwarten).

Der Gehalt an sauren Oelen ist bei sämtlichen Teeren am höchsten in der Schwerölfraktion, in der er bei den Kohlen H—L 46 bis 53 Vol. % ausmacht. Zum Leichtöl wie auch zum Anthrazenöl hin nimmt der Gehalt an sauren Oelen ab. Die verschiedenen Verkokungstemperaturen wirken sich dahin aus, daß bei den geologisch alten Kohlen G und A im Mittelöl, Schweröl und Anthrazenöl I bei 800° Verkokungstemperatur ein Höchstwert an sauren Oelen auftritt, während bei den jüngeren backenden Gasflammkohlen O bis L der Gehalt an sauren Oelen mit steigender Verkokungstemperatur abnimmt. Schließlich bleibt noch darauf hinzuweisen, daß, genau wie bei der Mittel- und Schwerölfraktion, der Gehalt an sauren Oelen von den geologisch alten zu den jungen Kohlen hin ansteigt.

Der Gehalt der einzelnen Oelfraktionen an Rohbasen steigt bei allen Kohlen vom Leichtöl bis zum Anthrazenöl II, wobei sämtliche Kohlen praktisch gleiche Werte zeigen. Dabei sind die Unterschiede in den einzelnen Oelfraktionen nur gering mit 1,0 bis 2,0 % im Leichtöl und 2,0 bis 3,5 % im Anthrazenöl II.

Aus den einzelnen Oelfraktionen umgerechnet, ergeben sich in den Teeren folgende Gehalte an sauren Oelen und Rohbasen:

Zahlentafel 14. Saure Oele und Rohbasen im Teer.

	G	A	O	H	F	L	B
600°-Verkokung:							
Saure Öle . . . . . Vol.-%	16,06	29,01	28,61	32,93	32,43	33,99	25,03
Rohbasen . . . . . „	1,7	1,6	1,5	1,5	1,8	1,3	1,6
800°-Verkokung:							
Saure Öle . . . . . Vol.-%	13,31	22,60	23,71	22,79	26,18	28,63	18,48
Rohbasen . . . . . „	1,3	1,6	1,4	1,3	1,3	1,3	1,2
950°-Verkokung:							
Saure Öle . . . . . Vol.-%	10,86	18,75	18,24	20,66	20,68	23,62	18,20
Rohbasen . . . . . „	1,1	1,5	1,2	1,2	1,2	1,1	1,1

Die Zahlentafel zeigt, daß der Gehalt der Teere an sauren Oelen und an Rohbasen von der tiefen zur hohen Verkokungstemperatur hin abnimmt und daß auch der Gesamtgehalt der Teere an sauren Oelen von der geologisch alten Kohle G zur jungen Gasflammkohle L hin ansteigt. Bei der Tieftemperaturverkokung der oberschlesischen Sattelflözkohlen O—L ist danach mit 30—35 Vol.-% sauren Oelen im Teer zu rechnen, bei der Mitteltemperaturverkokung mit etwa 23—30 Vol.-%, während der Gehalt an Rohbasen 1,8—1,3 Vol.-% beträgt.

Kohlenwasserstoffe.

Von den mittels aktiver Kohle aus den Gasen ausgewaschenen Kohlenwasserstoffen wurden nur das spez. Gewicht und der Siedeverlauf bestimmt, da die gewonnenen Mengen zur Bestimmung des Gehaltes an Aliphaten und Aromaten nicht ausreichten. Das spez. Gewicht der Kohlenwasserstoffe steigt mit steigender Verkokungstemperatur. Es liegt bei der 600°-Verkokung zwischen 0,707 und 0,730 und steigt bei der 950°-Verkokung auf 0,765 bis 0,775; es liegt bei dieser Verkokungstemperatur immer noch beträchtlich niedriger als das bei der Hochtemperaturverkokung im Betriebe erreichte spez. Gewicht des Benzols von 0,88. Der Siedebeginn liegt ebenfalls niedrig, bei den meisten Proben zwischen 40 und 55° C. Bei den Kohlen G, A und L steigt die Temperatur des Siedebeginns mit steigender Verkokungstemperatur, während bei den Kohlen O, H, F und B der späteste Siedebeginn bei der 800°-Verkokung gefunden wurde. Ebenso uneinheitlich ist der Siedeverlauf selbst und auch die Temperatur, die zwischen 130 und 155° schwankt, bei der 95 % der Kohlenwasserstoffe überdestillieren.

Gas.

Aus Zahlentafel 15 sind die Ergebnisse der Gasuntersuchung zu ersehen. Die Gaszusammensetzung ist mit dem Orsat-Apparat ermittelt, der Gehalt an Aethan (C_2H_6) wurde durch die Volumenzunahme bestimmt, die nach der H_2-Verbrennung bei langsamer Steigerung der Temperatur eintrat. Das spez. Gewicht wurde nach Schilling-Bunsen gegenüber Luft bestimmt und auf 0°/760 mm umgerechnet.

Zahlentafel 15. Gasanalysen (Gesamtdurchschnitt.)

Kohle		CO_2 %	C_nH_m %	O_2 %	CO %	H_2 %	C_2H_6 %	CH_4 %	N_2 %	Spez. Gew. 0°; 750 mm	Gasausbringen n L / kg tr.	Heizwert errechnet kcal m³ (Hu)	Untere Gaswertzahl
G	600°	2,6	1,8	0,6	2,0	28,8	4,2	57,0	3,0	0,632	101	6 611	667 050
	800°	2,0	1,4	0,4	2,8	53,0	4,6	32,2	3,6	0,493	210	5 135	1 078 864
	950°	1,6	1,6	0,8	1,0	69,4	2,4	20,2	3,0	0,375	270	4 180	1 128 600
A	600°	5,4	1,6	0,4	3,8	27,7	9,9	48,2	3,0	0,747	96	6 715	646 655
	800°	3,0	1,6	0,4	6,0	51,0	5,4	28,9	3,7	0,552	210	5 054	1 060 835
	950°	2,1	1,5	0,4	5,7	64,4	3,5	19,2	3,2	0,431	268	4 258	1 139 867
O	600°	6,5	1,9	0,3	6,3	23,4	11,4	47,2	3,0	0,746	91	6 872	622 603
	800°	4,6	1,8	0,3	6,3	48,8	4,4	31,1	2,7	0,594	209	5 077	1 062 108
	950°	3,4	2,0	0,4	7,2	60,4	2,4	21,6	2,6	0,463	270	4 324	1 165 750
H	600°	7,4	2,0	0,6	6,2	26,4	8,5	45,9	3,0	0,776	101	6 414	648 455
	800°	5,2	2,2	0,2	8,6	49,8	4,8	26,6	2,6	0,575	223	4 907	1 093 770
	950°	3,8	1,6	0,2	7,6	59,2	2,4	21,0	4,2	0,485	273	4 186	1 142 359
F	600°	6,4	1,8	0,4	6,4	26,4	9,0	46,7	2,9	0,743	93	6 530	609 249
	800°	4,4	1,6	0,3	7,1	52,1	4,0	27,4	3,1	0,573	214	4 776	1 022 064
	950°	2,2	2,6	0,0	7,4	61,8	1,8	21,0	3,2	0,464	263	4 326	1 137 305
L	600°	9,0	2,2	0,2	7,6	25,4	9,0	44,0	2,6	0,758	92	6 378	584 225
	800°	4,2	1,0	0,4	8,2	54,1	2,3	27,0	2,8	0,509	219	4 465	977 388
	950°	3,7	1,5	0,2	7,6	61,2	1,6	20,4	3,8	0,486	273	4 048	1 103 485
B	600°	7,0	1,9	0,4	6,7	28,4	8,4	44,2	3,0	0,745	103	6 303	651 730
	800°	4,6	2,7	0,4	7,3	56,6	2,7	22,7	3,0	0,579	228	4 487	1 022 139
	950°	3,8	1,4	0,4	5,0	59,2	2,2	25,6	2,4	0,476	273	4 435	1 209 868

Die Gaszusammensetzung ändert sich mit der Verkokungstemperatur in der Weise, daß mit höherer Verkokungstemperatur der Gehalt des Gases an CO_2, und C_2H_6 und CH_4 abnimmt, während der H_2-Gehalt steigt. Die Menge der „schweren Kohlenwasserstoffe" (C_mH_n) zeigt wider Erwarten keine bestimmte Abhängigkeit von der Verkokungstemperatur. Auch liegen die Werte bei den einzelnen Kohlen wie auch bei den Kohlen untereinander so wenig unterschiedlich, daß man sie als praktisch gleich bezeichnen kann. Auffällig ist, daß Werte über 2 %, wie sie bei der Hochtemperaturverkokung in normalen Koksöfen erhalten werden, nur viermal auftreten.

Beim Kohlenoxydgehalt der Gase ist zu bemerken, daß, mit Ausnahme der Kohlen O und F, ein Höchstwert an CO bei der 800°-Verkokung auftritt.

Bei den Gasanalysen wurde noch ein geringer Gehalt an O_2 gefunden (0,2 -0,6 %), der aus den Kohlen herstammen kann, da er bei allen Analysen gleichmäßig auftritt. Der Stickstoffgehalt liegt bei allen Kohlen um etwa 3 %.

Beim Vergleich der Kohlen untereinander ist hervorzuheben, daß offenbar im Zusammenhang mit dem Sauerstoffgehalt der Kohlen, der Gehalt an CO_2 und CO bei Kohle G am niedrigsten ist und über Kohle A, mit den nächst höheren Werten, zu den restlichen Kohlen O—B hin ansteigt, wobei diese Kohlen unter sich wenig unterschiedliche Werte zeigen.

Das spez. Gewicht des Gases fällt mit höherer Verkokungstemperatur, also mit höherem H_2-Gehalt, wobei das Gas der Kohle G die niedrigsten Werte hat, während die Werte der anderen Kohlen nur wenig von einander abweichen.

Auch im Gasausbringen sind nennenswerte Unterschiede nicht vorhanden. Selbst die Kohlen G und A mit ihrem geringeren Gehalt an flüchtigen Bestandteilen stehen im Gasausbringen den gasreichen Sattelflözkoh-

len nicht nach, was, wie schon erwähnt, auf den unterschiedlichen Sauerstoffgehalt zurückzuführen ist, der bei den flüchtigen Bestandteilen mitbestimmt wird, sich aber am Gasausbringen nicht oder nur unwesentlich beteiligt.

Der untere Heizwert wurde aus der Gasanalyse errechnet.

Wie schon beim Gasausbringen, muß auch für den unteren Heizwert und dementsprechend auch für die untere Gaswertzahl festgestellt werden, daß eine klare Ueberlegenheit einer Kohle gegenüber den anderen Kohlen nicht vorhanden ist. Nur die reine Gasflammkohle L mit ihrem besonders leicht zersetzlichen Bitumen und dem höchsten O_2-Gehalt hat die geringsten Gasheizwerte und die kleinsten Gaswertzahlen.

d) Vergleich des Laboratoriumsausbringens mit dem Betriebsausbringen.

Im Verlaufe der Arbeit sind mehrfach die im Laboratoriumsversuch erhaltenen Ergebnisse mit den Ergebnissen des Großbetriebes verglichen worden, um das Ausmaß der Zweitzersetzung bei beiden Verkokungsarten zu kennzeichnen. Um diesen Unterschied noch einmal klar herauszustellen, mag noch eine Zusammenstellung folgen, in der das Ausbringen und die Teerzusammensetzung der Kohle B bei der 950°-Verkokung im Schwelrohr mit der Hochtemperaturverkokung in neuzeitlichen 3.1 m hohen Silikaöfen verglichen wird.

Zahlentafel 16.
Ausbringen und Kennzahlen des Teeres im Laboratorium und Betrieb.
(Ausbringezahlen bezogen auf Trockenkohle).

	Verkokung der Kohle B	
	im Laboratorium	im Betrieb
Endtemperatur im Koks . . . . . °C	950	950
Stampfdichte (trocken) . . . . Kg/m³	957	950
Ausbringen:	%	%
Trockenkoks	72,34	72,32
Teer (wasserfrei)	6,80	3,68
Benzol	0,76	1,33
NH_3	0,33	0,31
Gas (0°/760 mm)	13,69	18,98
Zersetzungswasser	6,08	3,38
	100,00	100,00
Teeranalyse:	%	%
Leichtöl	3,99	1,13
Mittelöl	15,81	8,98
Schweröl	11,16	14,09
Anthrazenöl I	6,68	6,49
Anthrazenöl II	17,06	10,97
Pech (E. P. 70°)	45,30	58,34
	100,00	100,00

Aus der Zahlentafel ist eindeutig zu ersehen, daß die Verkokungserzeugnisse im Betriebe einer wesentlich stärkeren Zersetzung unterliegen als bei derselben Temperatur im Versuchsofen von Wölbling, was sich besonders im Teer- und Gasausbringen ausdrückt. Während im Laboratoriumsversuch 6,8 % Teer erhalten wurden, ergibt der Großbetrieb nur 3,68 % Teer, und dieser stärkeren Zersetzung entsprechend werden im Be-

triebe 18,98 % Gas gegenüber 13,69 % im Laboratorium erhalten; ebenso liegt das Benzolausbringen im Betriebe um 0,57 % (absolut) höher. Dagegen sind im Koks- und Ammoniakausbringen keine Unterschiede vorhanden. Die Menge des Zersetzungswassers ist im Laboratoriumsversuch um 2,7 % (absolut) höher, weil im Betriebe der entstandene Wasserdampf infolge der längeren Verweilzeit im Ofen mehr Gelegenheit hat, mit dem Koks oder den Zersetzungsgasen zu reagieren und Gas zu bilden.

In der Teeranalyse zeigt sich die schonende Behandlung der Gase im Laboratoriumsversuch durch den höheren Gehalt an Leichtöl und Mittelöl und den wesentlich geringeren Pechgehalt von nur 45,30 % gegenüber 58,34 % im Betriebe.

III. Zusammenfassung.

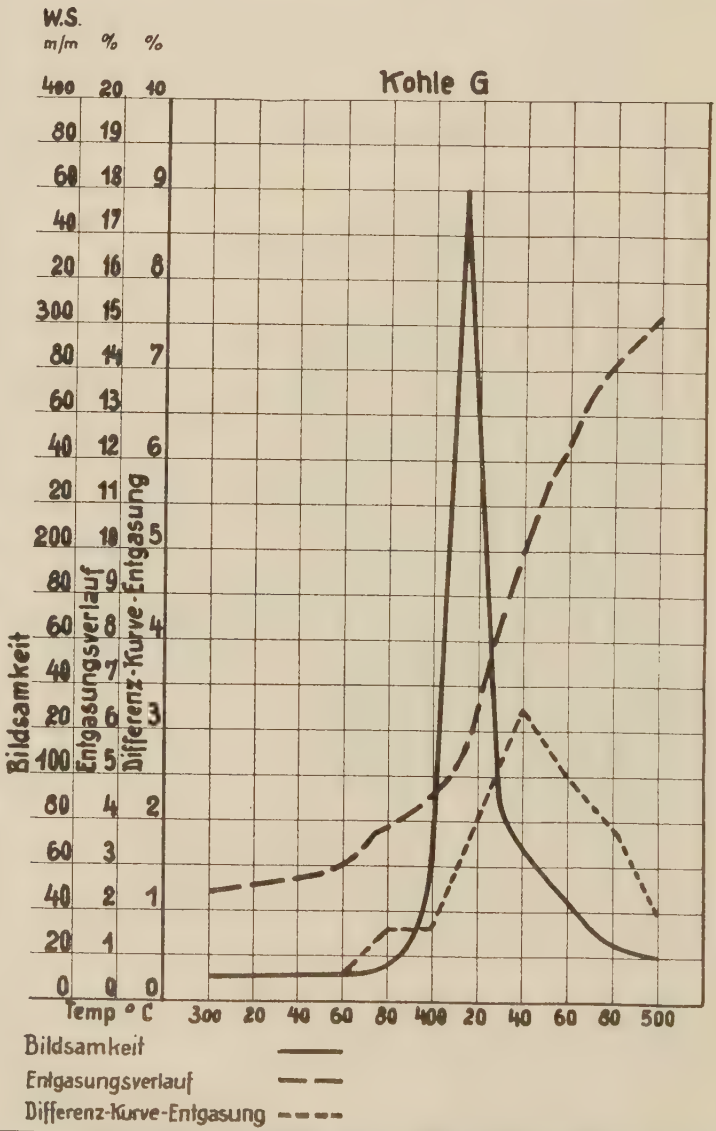
Nach einer allgemeinen Kennzeichnung der für die Mittel- und Tieftemperaturverkokung für die oberschlesischen Verhältnisse in Betracht kommenden Kohlen wurde zunächst die verfahrenstechnische Seite der Niedrigtemperaturverkokung untersucht, wobei durch Ueberlegung und Versuch festgestellt wurde, daß die bisher übliche Verkokung in Kammern mit rechteckigem Querschnitt für die wärmeempfindlichen oberschlesischen Kohlen weniger günstig ist als die Verkokung in Rohren oder Rohrabschnitten. Neben dem überragenden Einfluß der Verkokungsgeschwindigkeit auf die Güte des oberschlesischen Kokses konnte bei den Sattelflözkohlen insbesondere bei Kohle H eine Unstetigkeit im Verkokungsverhalten bei Temperaturen um 800° deutlich beobachtet werden. Nach der Klarstellung der zu erwartenden physikalischen Eigenschaften der Kokse Festigkeit und Abrieb sind die chemischen Eigenschaften näher untersucht, wobei auch festgestellt wurde, daß eine Aschenverminderung der Ausgangskohlen z. T. weitgehende Aenderungen im Schmelzverhalten der Kohlen und in Reaktionsfähigkeit, Zündpunkt und flüchtigen Bestandteilen des Kokses bewirkt. Weiter ließ sich eine deutliche Abhängigkeit der Menge der flüchtigen Bestandteile vom Porenraum nachweisen. Schließlich ist die bei der Niedrigtemperaturverkokung der oberschlesischen Kohlen zu erwartende Menge und Zusammensetzung der Nebenerzeugnisse in ihrer Abhängigkeit von der Verkokungstemperatur untersucht und mit dem Ausbringen des Großbetriebes verglichen.

Lebenslauf

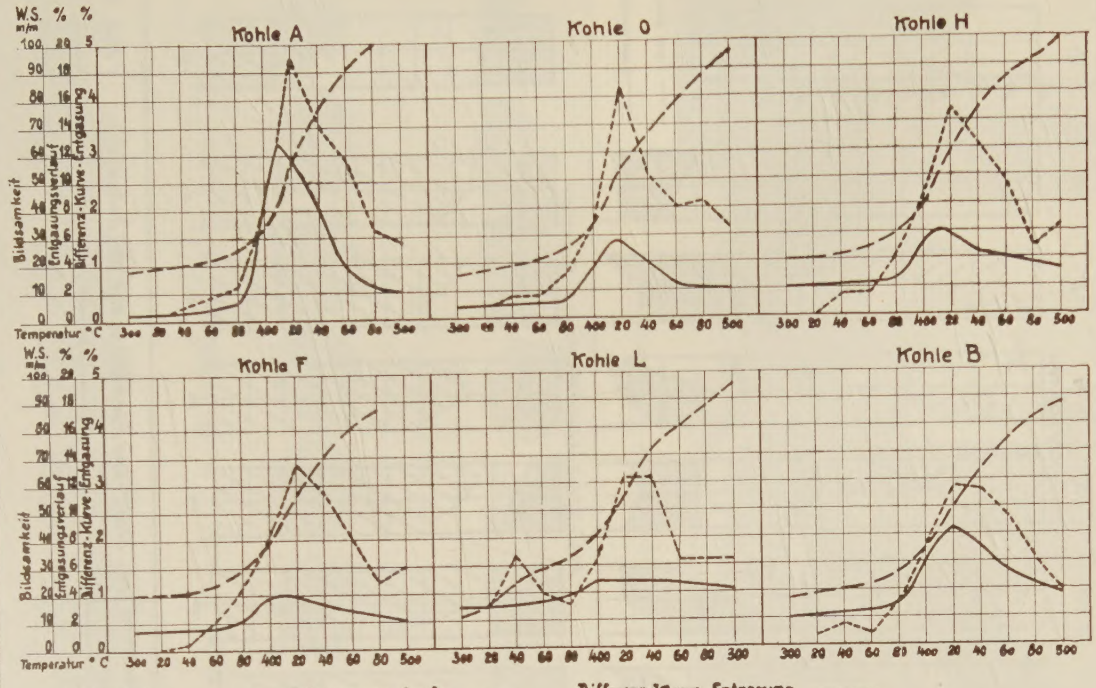
Geburtstag:	6. März 1909; Königshütte OS.
Vater:	Franz Quaschner, Königl. Schichtmeister.
Reifeprüfung:	April 1928 — Oberrealschule Gleiwitz.
Studium:	10 Semester Eisenhüttenkunde an der T. H. Breslau.
Diplom-Examen:	1. März 1933.
Tätigkeit nach dem Examen:	1. Mai 1933 bis 15. April 1936: „Borsig-Kokswerke AG.", Hindenburg-Borsigwerk OS.; 15. April 1936 bis heute: „Vereinigte Oberschlesische Hüttenwerke AG." Gleiwitz, — Werk Julienhütte.

Literaturnachweis

1. *Thau:* G.W.F. 1936. S. 611.
2. *Bunte:* Glückauf 1933, S. 767.
3. *Franz Fischer,* desgl. Damm, G.W.F. 1934, Nr. 14/15.
4. *Bunte:* G.W.F. 1933, S. 690.
5. *Litterscheid:* Glückauf 1934, S. 77.
6. *Damm:* Brenst.-Chemie 10 (1929), S. 194.
7. *Diepschlag:* Stahl und Eisen, 1923.
8. Nach einer Mitteilung anläßl. einer Kokereiausschußsitzung.
9. *Jungbluth-Klapp:* Krupp Monatshefte 10 (1929).
10. *Mott:* Gas World 102 (1935) 9/15.
11. *Häusser-Bestehorn:* Ber. d. Ges. f. Kohlentechn. 6—7.
12. *Speckhardt:* Glückauf 72 (1936) 225/31.
13. *Bunte:* G.W.F. 73, 1930, S. 246.
14. *Bähr-Fallhöhmer:* G.W.F. 69, 1926, S. 909.
15. *Nettlenbusch:* Br.-Chem. 37, 1927, S. 37.
16. *Rösli:* Monatsbl. Schw. G.W.F. 4, 1934, S. 202, 233, 289.
17. *Sensicle:* Gas World 42, 1930, S. 15.
18. *Neumann-v. Ahlen:* Brennst.-Chem. 15, 1934, S. 8.
19. *Cobb:* Chaleur et. Ind. 15, 19.
20. *Koppers-Jenckner:* Arch. f. Eisenh. 1932, S. 543.
21. *Cobb:* Chaleur et. Ind. 15, 19.
22. *Bunte-Windorfer:* G.W.F. 78, 1935, S. 725.
23. *Neumann-v. Ahlen:* Brennst.-Chem. 15 (1934), S. 62.
24. *Askey-Doble:* Fuel Sci. Pract. 14 (1935), S. 197.
25. *Davis-Auril:* Ind. Engng. Chem. 27 (1935) 459/61.
26. *Damm:* G.W.F. 1934, Nr. 14/15.



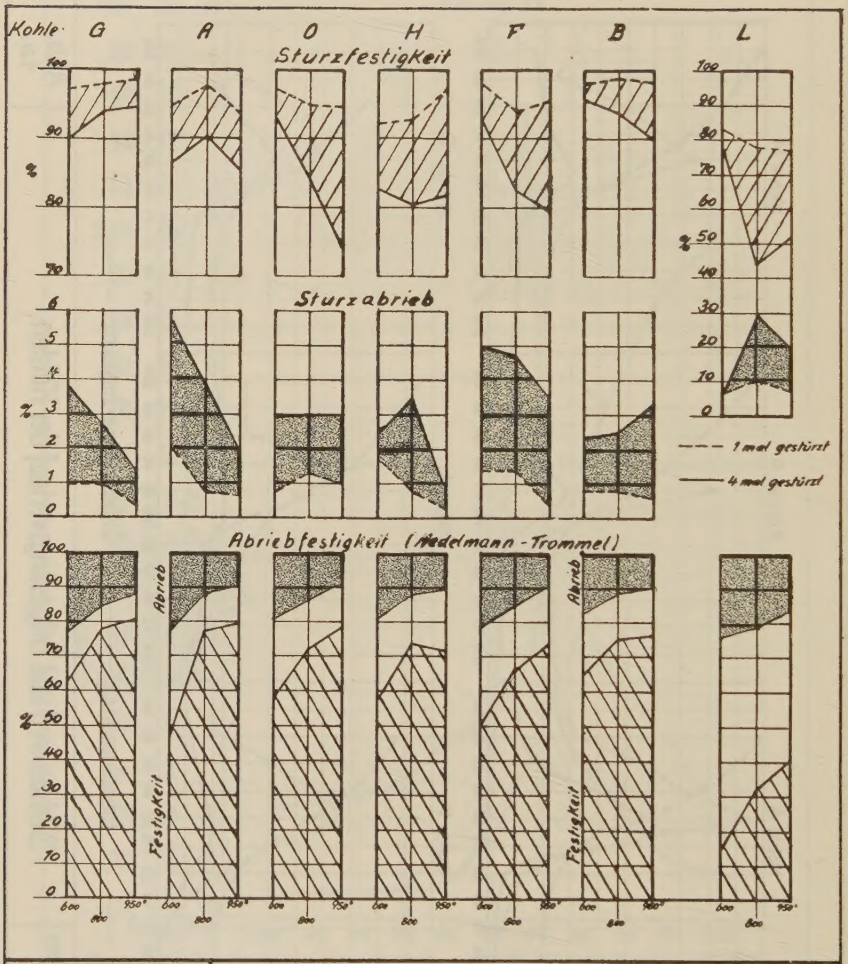
Dipl: Ing. K. Quaschner Hindenburg	Bildsamkeit und Entgasungsverlauf der Kohlen.	Abb. 1



Dipl:Ing. K. Quaschner
Hindenburg.

Bildsamkeit und Entgasungsverlauf der Kohlen.

Abb. 1a.



Dipl.-Ing. K. Quaschner
Hindenburg

Sturz- und Abriebfestigkeit der Kokse.

Abb. 6

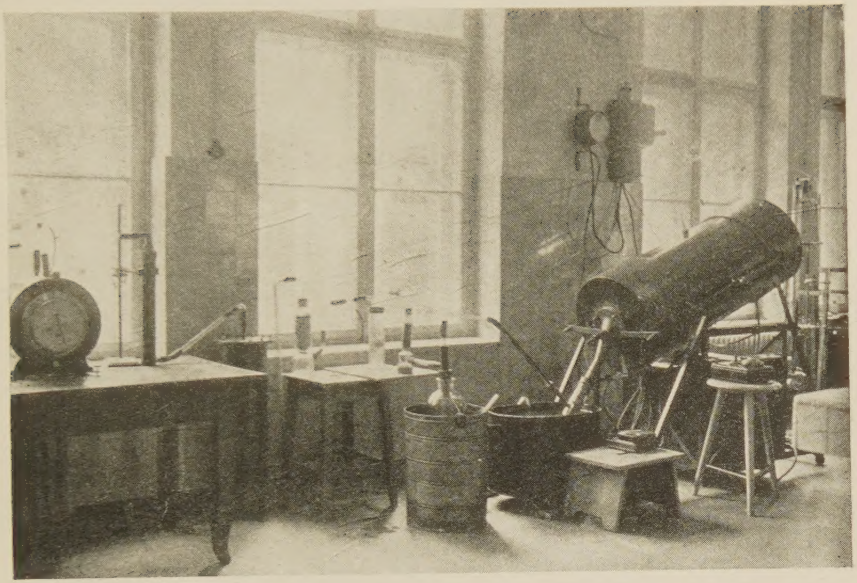


Abb. 2. Schwelapparatur nach Wölbling

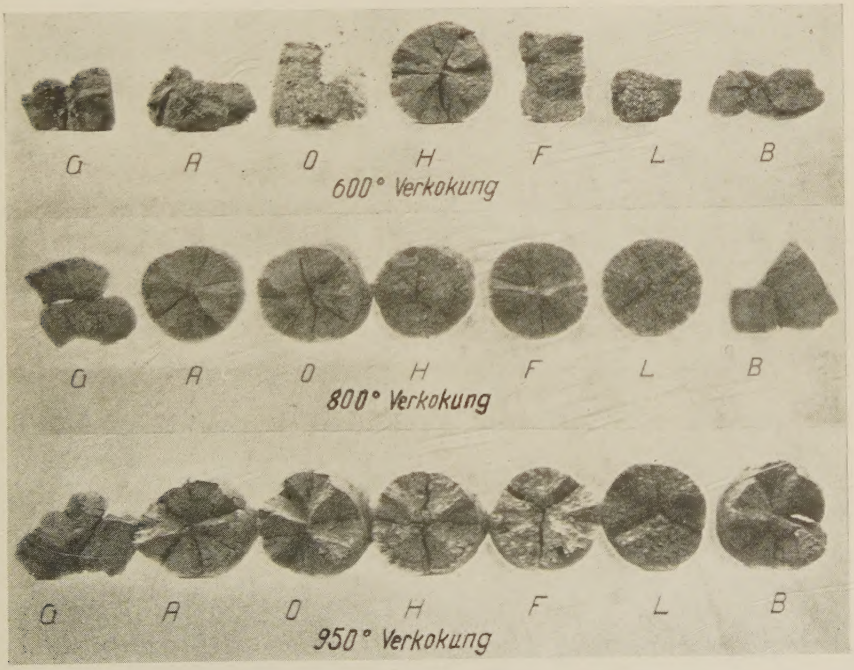


Abb. 3—5. Ansicht der Versuchskokse